

102



SYTYKE 16

GUN SANNHOLM & MIRJA SÖDERSTRÖM

ENTSYYMIKÄSITTELYN MERKITYS SULFAATTIMASSAN VALKAISUSSA

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
SYTYKE-ohjelma
Helsinki 1992

102

S Y T Y K E 1 6

GUN SANNHOLM & MIRJA SÖDERSTRÖM

**ENTSYYMIKÄSITTELYN MERKITYS SULFAATTIMASSAN
VALKAISUSSA**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
SYTYKE-ohjelma
Helsinki 1992

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Valtion painatuskeskus, PL 516, 00101 Helsinki
puh. (90) 56 601/julkaisutilaukset

ISBN 951-47-6269-X
ISSN 0786-9592

HELSINKI 1992

KUVAILULEHTI

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
Toukokuu 1992

Tekijä(t)
Gun Sannholm, Mirja Söderström
PI Process Consulting Oy

Toimielin
PI Process Consulting Oy:
Rune Franzén, Raimo Pusa

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisussa (Enzymbehandlings betydelse för blekning av sulfatmassa)

Julkaisun laji
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispyynti

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Tässä työssä verrattiin investointi- ja käyttökustannuksia, kun referenssiprosessiin, joko "vanhaan" 200 000 ADt/a tai uudenaikaiseen 400 000 ADt/a sulfaattiselluprosessiin liitettiin entsyymikäsittelyvaihe tai happivaihe. Vertailut laskettiin sekä mänty- että koivumassalle. Käyttö- ja investointikustannuslaskelmat perustuvat RAMI-simulointiohjelman avulla tehtyihin materiaali- ja energiataselaskelmien antamiin ominaiskulutuslukuihin. Taselaskelmissa on mukana koko sellutehtaan prosessi kuorimosta kuivatuskoneelle sekä kemikaalikierto, energian tuotanto, valkaisukemikaalien valmistus ja mäntyöljykeitto.

400 000 ADt/a -referenssisulfaattisellutehtaan kokonaisinvestointi on 2 400 milj. FIM (kevään -91 hintatason mukaan arvioituna). Entsyymivaihetehdään kokonaisinvestointikustannukset ovat vain 0,3 milj. FIM kalliimmat kuin referenssitehtaan. Entsyymivaiheen mukaanotto referenssitehtaaseen lisää talteenottolinjan kapasiteetin tarvetta n. 1,5 %. Klooridioksidilaitoksen kapasiteettia voidaan pienentää 34,5 -> 27,5 t/d. Happivaihetehdään kokonaisinvestointikustannus on 2 539,4 milj. FIM eli 5,8 % kalliimpi kuin referenssitehtaan investointikustannus. Happivaiheen mukaanotto referenssitehtaaseen aiheuttaa muutoksena happivaiheen lisäyksen sekä talteenottolinjan n. 5 % kapasiteetin lisäyksen. Klooridioksidilaitoksen kapasiteettia voidaan pienentää 34,5 -> 21,0 t/d. Käyttökustannuslaskelmissa on tarkasti eritelty puun, kemikaalien ja energian kulutukset. Tässä selvityksessä käytetyillä lähtöarvoilla entsyymikäsittelyn käyttökustannukset ovat 16...17 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaan käyttökustannukset.

Entsyymivaiheen lisäys "vanhaan", tuotannoltaan 200 000 ADt/d olevaan tehtaaseen aiheuttaa 1,4 milj. FIM investointikustannukset. Happivaihe aiheuttaa turn-key -pakettina arvioituna lisäkustannuksia 85,0 milj. FIM. Entsyymi- tai happivaiheen mukaanotto vanhassa tehtaassa aiheuttaa samansuuntaiset muutokset käyttökustannuksiin kuin uudessakin tehtaassa. Tuotannon rajoitukset ovat happivaihtoehdolla luokkaa 4,3-6,1 % ja entsyymivaihtoehdolla 1,3-2,1 %.

Asiasanat (avainsanat)

Sulfaattiselluprosessi, entsyymit, happikäsittely, investointikustannukset, käyttökustannukset, simulointi

Muut tiedot

SYTYKE, Suomen metsäteollisuuden ympäristönsuojelun tutkimus- ja kehittämisohjelma, projekti 16

Sarjan nimi ja numero
Vesi- ympäristöhallinnon
julkaisuja - sarja A 102

ISBN
951-47-6269-X

ISSN
0786-9592

Kokonaissivumäärä
66

Kieli
Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus
Julkinen

Jakaja
Valtion painatuskeskus
PL 516, 00101 Helsinki

Kustantaja
Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
Maj 1992

Författare
Gun Sannholm, Mirja Söderström
PI Process Consulting Ab

Organ
PI Process Consulting Ab:
Rune Franzén, Raimo Pusa

Publikation (även den finska titeln)

Enzymbehandlings betydelse för blekning av sulfatmassa (Ensyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisussa)

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Avsikten med det här arbetet var att utföra jämförelser av investerings- och driftskostnader då man till en referensprocess fogar ett enzymbehandlingssteg eller syrgassteg. Som referensfabriker har man valt en ny fabrik, som producerar 400 000 ADt/a och en gammal fabrik som producerar 200 000 ADt/a helblekt sulfatmassa. Drifts- och investerings-kostnadsberäkningarna baserar sig på specifika förbrukningsresultat från material- och energibalansberäkningar, som utfördes med hjälp av det i PI Process Consulting Ab utvecklade RAMI-simuleringsprogrammet. Balansräkningarna omfattar hela massafabrikens process. Totalinvesteringen för en skandinavisk sulfatmassafabrik, som producerar 400 000 ADt/a, har uppskattats till 2 400 milj. FIM (kostnadsnivå våren -91). Enzymbehandling av massan före blekeriet innebär en kemikalieåtervinning ca 1,5 %. Klordioksidanläggningens kapacitet kan sänkas från 34,5 till 27,5 t/d. De totala investeringskostnaderna för fabriksalternativet med enzymsteg är endast 0,3 milj. FIM dyrare än referensfabrikens kostnader. Inkludering av syrgasbehandling i referensfabriken förorsakar kapacitetshöjning av kemikalieåtervinningen med ca. 5 %. Klordioksidanläggningens kapacitet kan sänkas från 34,5 till 21,0 t/d. De totala investeringskostnaderna är 2 539,4 milj. FIM, vilket är 5,8 % dyrare än referensfabrikens investeringskostnader. I driftskostnadsberäkningarna har man noggrant specificerat ved-, kemikalie- och energiförbrukningarna. Driftskostnaderna med enzymbehandling är 16...17 FIM/ADt högre än referensfabrikens driftskostnader. För alternativet med syrgassteg erhålls en klar inbesparing av kemikaliekostnader. Då man fogar ett enzymbehandlingssteg till en gammal fabrik med en medelproduktionsnivå på 200 000 ADt/a har investeringarna uppskattats kosta 1,4 milj. FIM. Turn-key paketet för syrgassteget har uppskattats medföra en tilläggskostnad på 85 milj. FIM. Förändringarna i driftskostnaderna förorsakade av enzym- eller syrgasbehandling går för "200-fabriken" i samma riktning som för "400-fabriken".

Sakord (nyckelord)

Sulfatmassaprocesser, enzymer, syrgasdelignifiering, investeringskostnader, driftskostnader, simulering

Övriga uppgifter

SYTYKE, Forsknings- och utvecklingsprogram för miljövärden inom Finlands skogsindustri, projekt 16

Seriens namn och nummer
Vatten- och miljöförvaltningens
publikationer - serie A 102

ISBN
951-47-6269-X

ISSN
0786-9592

Sidantal
66

Språk
Finska

Pris

Sekretessgrad
Offentlig

Distribution
Statens tryckericentral
PB 516, 00101 Helsingfors

Förlag
Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101 Helsingfors

DOCUMENTATION PAGE

Published by
National Board of Waters and the Environment

Date of publication
May 1992

Author(s)
Gun Sannholm, Mirja Söderström
PI Process Consulting Ltd

Commission
PI Process Consulting Ltd:
Rune Franzén, Raimo Pusa

Title of publication
The effect of enzymatic treatment on kraft pulp bleaching

Type of publication
Research report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

The purpose of this work was to compare investment and operating costs when an enzyme treatment stage or an oxygen delignification stage was added to a reference process. As a reference mill a new mill with annual average production of 400 000 ADt/a and an old mill with annual average production of 200 000 ADt/a fully bleached kraft pulp were used. The operating and investment cost calculations are based on specific consumption values from material and energy balance calculations using the RAMI simulation program developed by PI Process Consulting Ltd. The balance calculations cover the whole pulp mill process. The total investment cost for a Scandinavian craft pulp mill producing 400 000 ADt/a has been estimated to 2 400 million FIM in spring -91. The total investment costs for the mill including enzyme treatment are only 0.3 million FIM more expensive than the costs for the reference mill. The addition of the enzyme stage to the reference mill causes changes in the dimensioning of the chlorine dioxide plant and chemical recovery system. The additional capacity requirement in the chemical recovery line is about 1.5 %. The capacity of the chlorine dioxide plant can be reduced 34.5 → 27.5 t/d. The addition of an oxygen delignification stage to the reference mill causes changes of the chemical recovery line capacity by about 5 %. The capacity of the chlorine dioxide plant can be reduced 34.5 → 21.0 t/d. The total investment costs are 5.8 % more expensive than the investment costs for the reference mill. With present enzyme prices and charges the operating costs for the enzyme treatment are 16...17 FIM/ADt higher than the operating costs for the reference mill. Oxygen delignification gives a clear chemical cost saving. When an enzyme stage is added to the "old" reference mill with annual average production of 200 000 ADt/a the investments are estimated to cost 1.4 million FIM. The additional cost for the oxygen stage is estimated to 85.0 million FIM. The inclusion of an enzyme stage or an oxygen stage to "the 200-mill" causes changes in the operating costs that are in the same direction as for "the 400-mill".

Keywords

Kraft pulping, enzymes, oxygen delignification, operating costs, investment costs, simulation

Other information

SYTYKE, The Environmental Research and Development Programme for the Finnish Forest Industry, Project 16

Series (key title and no.)
Publications of the Water and Environment
Administration - series A 102

ISBN
951-47-6269-X

ISSN
0786-9592

Pages
66

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Government Printing Centre
P.O. BOX 516, SF-00101 Helsinki, Finland

Publisher
National Board of Waters and Environment
P.O. BOX 250, SF-00101 Helsinki, Finland

Veröffentlicht von
Zentralamt für Gewässer und Umwelt

Erscheinungsdatum
Mai 1992

Autoren
Gun Sannholm, Mirja Söderström
PI Process Consulting Ltd.

Organ
PI Process Consulting Ltd:
Rune Franzén, Raimo Pusa

Titel der Publikation
Die Bedeutung der Enzymbehandlung beim Bleichen von Sulfatmasse

Art der Publikation
Untersuchungsrapport

Auftraggeber

Gründungsdatum des Organs

Teile der Publikation

Zusammenfassung

* Die Arbeit vergleicht die Invest.- u. Betriebskosten nachdem einer Referenzanlage, entweder einer "alten" 200 000 ADt/a oder einer neueren 400 000 ADt/a Sulfatzelluloseanlage, eine Enzym- bzw. eine O₂-delignifizierung angegliedert wurde. Die Vergleiche sind für Kiefern- und Birkenholzmasse gerechnet. Die Invest.- u. Betriebskostenberechnungen beruhen auf den spezifischen Material- und Energiebalancerechnungen die mit Hilfe des Simulationsprogrammes RAMI erstellt wurden. In der balancerechnungen sind alle Prozesse des Zellulosewerkes, von der Schälung zur Trocknung, dem Chemikalienkreislauf, der Energiegewinnung, der Herstellung von Bleichchemikalien und der Tallölkocherei erfasst. Die Gesamtinvest.kosten des 400 000 ADt/a Sulfatzellulosewerkes betragen 2.4 Mrd. FIM (Preisniveau Frühjahr 91). Die entsprechenden Kosten eines Werkes mit Enzymdelignifizierung sind nur um 0.3 Mill. FIM höher. Bei Angliederung der Enzymdelignifizierung an den referenzprozess steigt jedoch der Kapazitätsbedarf der Rückgewinnungslinie um ca. 1.5 %. Die Kapazität der Chlordioxidanlage kann von 34.5 auf 27.5 t/Tag verkleinert werden. Die Gesamtinvest.kosten des Werkes mit O₂-delignifizierung betragen 2.5394 Mrd. FIM, sind also um 5.8 % höher als beim Referenzprozess. Die Angliederung der O₂-delignifizierung erfordert ausserdem eine Erweiterung der Rückgewinnungslinie um ca. 5 %. Die Kapazität der Chlordioxidanlage kann von 34.5 auf 21.0 t/Tag verkleinert werden. In der Betriebskostenrechnung ist der verbrauch von Holz, Chemikalien und Energie genau spezifiziert. Bei den in dieser Untersuchung verwendeten Ausgangsdaten ist die Enzymdelignifizierung um 16...17 FIM/ADt teurer als der Referenzprozess. Die Angliederung der Enzymdelignifizierung an einen "alten" 200 000 ADt/a Prozess erfordert Investitionskosten in Höhe von 1.4 Mill. FIM. Die O₂-delignifizierung als Turn-Key Projekt an vorstehend genannten Prozess angegliedert erfordert Investitionen in Höhe von 85.0 Mill.FIM. Die Angliederung der Sauerstoff- bzw. Enzymdelignifizierung verursacht bei dem älteren Prozess gleichartige Betriebskostenveränderungen als beim neueren Prozess.

Stichwörter

Sulfatzelluloseprozess, Enzymen, Sauerstoffdelignifizierung, Betriebskosten, Investitionskosten, Simulation

Sonstige Angaben

SYTYKE, das Umweltforschungs- und Entwicklungsprogramm der finnischen Holtzindustrie, Projekt 16

Nummer und Name der Serie
Publikationen der Verwaltung für Gewässer
und Umwelt - Serie A 102

ISBN
951-47-6269-X

ISSN
0786-9592

Seitenzahl
66

Sprache
Finnisch

Preis

Vertraulichkeit
Öffentlich

Vertrieb
Finnisches Staatsdruckerei
Postfach 516, SF-00101 Helsinki, Finnland

Verleger
Zentralamt für Gewässer und Umwelt
Postfach 250, SF-00101 Helsinki, Finnland

ALKUSANAT

SYTYKE-ohjelman osaprojektiksi (SYTYKE 16) hyväksyttiin 18.12.1990 PI Process Consulting Oy:n tarjoamiselvitys "Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisuissa".

Metsäteollisuuden ympäristönsuojelun suuntaamista varten perustetun tutkimus- ja kehitysohjelman (SYTYKE) toteuttavat yhteistyössä Ympäristöministeriö, Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto sekä Maj ja Tor Nesslingin Säätiö.

Tämän työn toimeksiantajina ovat myös Oy Alko Ab ja Cultor Oy.

Selvityksessä tarkastellaan entsyymikäsittelyn ja happikäsittelyn vaikutuksia investointi- ja käyttökustannuksiin valkaistun sulfaattimassan valmistuksessa kahdessa eri tehtaassa. Tehdasesimerkeiksi on valittu uusi, 400 000 ADt/a tuottava tehdas sekä jo toiminnassa oleva, 200 000 ADt/a tuottava tehdas, jossa tuotantoa rajoittavana tekijänä on soodakattilan kapasiteetti.

Kustannuslaskelmien pohjaksi on ensin laskettu materiaali- ja energiataseet. Taselaskelmissa on käytetty PI Process Consulting Oy:ssä kehitettyä RAMI-simulointiohjelmaa.

Selvitys kattaa koko sellutehtaan prosessin kuorimosta kuivatuskoneelle sekä kemikaalikierron, valkaisukemikaalien valmistuksen ja mäntyöljykeittämön. Jäteveden puhdistuslaitos ei sisälly selvitykseen.

Kiitämme SYTYKE-ohjelman tutkimusjohtajaa Seppo Ruonala, SYTYKE-ohjelman valvontaryhmän jäseniä Airi Karvosta, Erkki Kiiskilää ja Raimo Malista, Oy Alko Ab:n edustajia Risto Hakulista ja Pentti Ojapaloa sekä Cultor Oy:n edustajia Jaakko Lainetta ja Pekka Piirtoista hyvästä yhteistyöstä.

Vantaalla 25.9.1991

PI PROCESS CONSULTING OY

Rune Franzén

Gun Sannholm

SISÄLLYS

Sivu

ALKUSANAT	7
1 JOHDANTO	11
2 PROSESSITASEET	12
3 "400-TEHDAS" (UUSI TEHDAS)	13
3.1 Prosessikuvaus ja tuotannot	13
3.2 Investointikustannukset	15
3.3 Saannot ja kemikaaliannostukset	16
3.4 Käyttökustannukset	18
3.5 Taloudelliset vertailut ja herkkyysanalyysi	23
4 "200-TEHDAS" (VANHA TEHDAS)	27
4.1 Prosessikuvaus ja tuotanto	27
4.2 Investointikustannukset	29
4.3 Saannot, tuotannot ja kemikaaliannostukset	30
4.4 Käyttökustannukset	34
4.5 Taloudelliset vertailut	37
5 ARVIOIDUT AOX-PÄÄSTÖT	40
6 PÄÄTELMÄT	41
6.1 Yleistä	41
6.2 "400-tehdas"	41
6.3 "200-tehdas"	43
7 TUTKIMUS- JA KEHITYSTARVE JATKOSSA	44
8 YHTEENVETO	45

LIITTEET	51
----------------	----

1	Lyhenneselitykset
2	Klooridioksidilaitoksen mitoitusarvot
3	Käytetyt hinnat
4	Yksityiskohtaiset käyttökustannukset "400-tehdas"
5	Yksityiskohtaiset käyttökustannukset "200-tehdas"
6	RAMI-simulointiohjelma

1 JOHDANTO

Viime vuosina eniten huomiota herättänyt jätevesiongelma sulfaattimassan valmistuksessa on valkaisu- ja jätevesien orgaaniset klooriyhdisteet. Valtakunnalliseksi tavoitteeksi on asetettu 1,4 kg AOX/t valkaistua sellua laskettuna vuoteen 1995 mennessä. Suomen selluteollisuuden AOX-päästöt ovat viime vuosina pienentyneet oleellisesti prosessitekniikan kehittymisen sekä uusien biologisten puhdistuslaitosten ansiosta. Ruotsissa AOX-päästöjä on pystytty vähentämään lähinnä erilaisilla sisäisillä prosessimuutoksilla. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää näiden kahden päätarvikkeen (prosessin sisäiset toimenpiteet ja hyvin toimiva ulkoinen puhdistus) yhdistämistä.

AOX:n muodostuminen on riippuvainen valkaisu- ja kloorikemikaalien kulutuksesta. Käytössä olevat menetelmät sulfaattimassan kloorikemikaalikulutuksen vähentämiseksi ovat jatkettu keitto, happikäsittely sekä tehokas massan pesu.

Kloorikaasun korvaaminen klooridioksidilla ensimmäisessä kloorausvaiheessa osittain (tai kokonaan koivusulfaattimassan valmistuksessa) vähentää myös AOX:n muodostumista.

Viime vuoden aikana ksylanaasientsyymikäsittelyä ennen valkaistua on kokeiltu myös tehdasmittakaavassa. Laboratoriokokeissa on todettu, että entsyymikäsittelyllä päästään joko korkeampaan lopulliseen vaaleuteen tai alhaisempaan aktiivikloorin kulutukseen. Tehdaskokeiden tavoitteena on toistaiseksi ollut lähinnä kloorinkulutuksen pienentäminen ja jätevesien AOX-kuorman vähentäminen. Laboratorio- ja tehdaskokeissa on päästy keskimäärin 20–30 % aktiivikloorin säästöön alkuvalkaisu- ja kloorikemikaalien säästö on eduksi paitsi AOX-päästölle niin tietenkin myös käyttökustannuksille.

Entsyymikäsittelyn käyttökustannuksia nostaa suurempi saantohäviö. Laboratoriokokeissa on todettu, että entsyymikäsittelyn ja valkaisu- ja yhteinen saantohäviö on 1–2 %-yksikköä suurempi kuin konventionaalisen valkaisu- ja saantohäviö. Näinollen kokonaissaanto putoaa 0,5–1,0 %-yksikköä entsyymikäsittelyn johdosta. Tehdasoloissa, joihin entsyymin sekoitukseen massaan löytyy paremmat ratkaisut, on ilmeisesti mahdollista vähentää entsyymin annostusta. Tällöin saantohäviö todennäköisesti tulee olemaan pienempi.

Tämän työn tarkoituksena on ollut suorittaa investointi- ja käyttökustannus-vertailut, kun referenssiprosessiin on liitetty entsyymikäsittelyvaihe. Vastaavat vertailut on suoritettu myös happikäsittelyvaiheen liittämiseksi referenssiprosessiin.

Vertailut on tehty kahdelle täysvalkaistua koivu- ja mäntysulfaattimassaa valmistavalle tehtaalte. Yhtenä tehdasesimerkkinä on uusi, uudenaikaista tekniikkaa käyttävä tehdas. Toiseksi esimerkiksi on valittu referenssitehdas, joka vastaisi jo vuosia

käytössä ollut tehdasta ja jossa massatuotannon rajoittavana tekijänä on soodakattila. Viimeksi mainitussa tapauksessa lähtöoletus on, että muutoksia ei tehdä referenssitehtaan muiden osastojen kohdalla.

Uuden tehtaan keskimääräiseksi vuosituotannoksi on valittu 400 000 ADt ("400-tehdas") ja vanhan tehtaan keskimääräiseksi vuosituotannoksi 200 000 ADt ("200-tehdas"). Se on samaa suuruusluokkaa, kuin mitä yhdellä massalinjalla tuotetaan skandinaavisessa sulfaattitehtaassa.

Käyttö- ja investointikustannuslaskelmat perustuvat materiaali- ja energia-taselaskelmien antamiin ominaiskulutuslukuihin. Taselaskelmissa ovat mukana kokosellutehtaan prosessi kuorimosta kuivatuskoneelle sekä kemikaalikierto, energian tuotanto, valkaisukemikaalien valmistus ja mäntyöljykeitto. Jätevedenpuhdistamo ei ole mukana. Taseet on laskettu koivulle ja männylle erikseen.

Investointi- ja käyttökustannuslaskelmat on tehty kahdelle eri tehdaskoolle, eri raaka-aine- ja prosessivaihtoehtoineen ko. tasetta vastaavasti. Investointilaskelmat on siten tehty kuudelle ja käyttökustannuslaskelmat kahdelletoista eri vaihtoehdolle.

Investointilaskelmien lähtökohtana on ollut uuden skandinaavisen valkaistua sulfaatti-sellua tuottavan tehtaan kokonaisinvestointikustannus, joka sisältää eri prosessiosastojen kustannukset sekä yhteiset prosessikustannukset ja yleiset epäsuorat projektikustannukset, kuten suunnittelu-, käyttöönotto- ja koulutuskustannukset sekä rakennusaikaiset menot.

Laskettaessa happi- ja entsyymivaihtoehtojen investointikustannuksia on tehty osastokohtaisia tarkasteluja niille prosessin osa-alueille, joissa on tapahtunut oleellisia laitemuutoksia.

Käyttökustannuslaskelmat on tehty kullekin vaihtoehdolle yksittäisesti taselaskelmien antamien ominaiskulutuslukujen perusteella.

Kustannukset on arvioitu esisuunnittelutasoisesti kokonaisinvestoinnille käyttäen apuna PI:lle muista projekteista kertynyttä puunjalostusteollisuuden kustannustietoutta. Tarkennetuissa osastolaskelmissa on käytetty laitetoimittajien kevään 1991 budjettitasoisia tarjouksia. Käyttökustannuslaskelmien yksikköhinnat ovat kevään 1991 toimitushintoja asiakkaalle Suomessa.

2 PROSESSITASEET

Taselaskelmat on suoritettu PI Process Consulting Oy:n kehittämällä **RAMI**-simulointiohjelmalla (kts. liite 6).

Työssä on tarkasteltu kahta tehdasesimerkkiä. Nk. "400-tehdas" on uusi,

Taulukko 1. Lasketut taseet sekä raportissa käytetyt taseiden lyhenteet (lyhenteiden selitykset kts. liite 1).

Prosessivaihtoehdot	Tuotanto, ADt/a			
	400 000		200 000	
	Puuraaka-aine			
	Mänty	Koivu	Mänty	Koivu
Referenssi	M400R	K400R	M200R	K200R
Referenssi + happikäsittely	M400H	K400H	M200H	K200H
Referenssi + entsyymikäsittely	M400B	K400B	M200B	K200B

Taseissa on käytetty vuoden keskilämpötiloja.

400 000 ADt/a tuottava tehdas ja nk. "200-tehdas" edustaa jo käynnissä olevaa, 200 000 ADt/a tuottavaa tehdasta, jossa soodakattila on pullonkaulana.

"400-tehtaan" prosessikuvaus on esitetty kohdassa 3.1 ja "200-tehtaan" prosessikuvaus on esitetty kohdassa 4.1. Taselaskennan perusmalleina ovat kohdassa 3.1 ja 4.1 kuvatut referenssitehtaat. Näihin tehdasmalleihin on tehty joko happikäsittelyn (vaihtoehto referenssi + happikäsittely) tai entsyymi käsittelyn (vaihtoehto referenssi + entsyymikäsittely) vaatimat muutokset. Muiden osastojen kohdalla näihin kahteen perusmalliin ei ole tehty kytkentämuutoksia.

Taulukkoon 1 on koottu tässä työssä lasketut taseet. Taulukkoon on samalla koottu raportissa käytetyt lyhenteet lasketuille taseille (kts. myös liite 1). Taseet on laskettu sekä koivu- että mäntysulfaattimassalle.

Taselaskelmissa mukana olevat osastot ovat: puunkäsittely, keitto, pesu, lajittamo, valkaisu, jälkilajittamo, kuivatus, haihduuttamo, soodakattila, kaustisointi, meesauuni, hajukaasusysteemi, höyryn ja sähkön tuotanto, mäntyöljykeittäjä sekä klooridioksidilaitos.

3 "400-TEHDAS" (UUSI TEHDAS)

3.1 Prosessikuvaus ja tuotannot

Tarkasteltava tehdas on uusi, nykyaikainen skandinaavinen tehdas. Lyhyesti kuvattuna referenssitehtaan prosessi on seuraavanlainen:

Puunkäsittely	kuiva kuorimo
Keittämö-pesemö	jatkuva keitin, jatkettu keitto 3 tunnin hi-heat, yksivaihediffusööri
Lajittamo	kolmivaiheinen lajittelu painesuodatin pesupuristin
Valkaisu	tuorevesipesuri C/D-E ₀ -D ₁ -D ₂ , - C/D-vaiheessa: 100 % ClO ₂ koivulle 50 % ClO ₂ männylle
Jälkilajittamo	nelivaiheinen pyörrepuhdistus
Kuivatuskone	kuivatuskone arkkileikkureineen
Kemikaalien talteenotto	viisivaiheinen haihduttamo sekä loppuväkevöinti, vahva mustalipeän väkevyys 73 % soodakattila, kolmekammioinen sähkösuodatin ja alkaliskrubberi kaustisointilaitos meesauuni, sähkösuodatin ja savukaasupesuri valkolipeän hapetuslaitos vuotolipeän keräilyjärjestelmä hajukaasujen käsittelyjärjestelmä kaustisointiaste 82 % pelkistysaste 94 % sulfiditeetti 35 %
Klooridioksidilaitos	suolahappo-menetelmä

Vaihtoehtoihin, joissa on **happikäsittely** ennen valkaisua (K400H ja M400H), on lisätty keskisakeus-happireaktori ja yksivaihediffusööri.

Vaihtoehtoisissa, joissa on **entsyymikäsittely** ennen valkaisua (K400B ja M400B), on lisätty pH-säätökemikaalin ja entsyymien annostus massatorniin ennen valkaisua. Massatornissa liuennut orgaaninen aine kulkeutuu massavirran mukana tuorevesipesurille ja sitä kautta jätevesiin. Rikkihappoa on käytetty pH:n säätökemikaalina.

Kappaluvut keiton ja happikäsittelyn jälkeen on esitetty taulukossa 2.

Tuotantoluvut koivusulfaattimassalle ja mäntysulfaattimassalle on valittu siten, että keskimääräinen vuosituotanto olisi 400 000 ADt. Koska on lähdetty siitä, että sekä koivu- että mäntysulfaattimassan valmistus tapahtuu samalla laitteistolla, on jatkuvaksi maksimituotannoksi laskelmissa valittu koivulle 1 400 ADt/d ja männylle 1 300 ADt/d

Taulukko 2. Kappaluvut keiton ja happikäsittelyn jälkeen eri prosessivaihtoehdoille koivu- ja mäntysulfaattimassan valmistuksessa.

Vaihtoehto	Kappaluku	
	keiton jälkeen	happikäsittelyn jälkeen
K400R	17	12
K400H	17	
K400B	17	
M400R	25	15
M400H	25	
M400B	25	

Taulukko 3. Valkaistun koivu- sekä mäntysulfaattimassan tuotantoluvut.

		Koivu	Mänty
Maksimi jatkuva tuotanto	t_{90} vtu/d	1 400	1 300
Keskituotanto	t_{90} vtu/d	1 190	1 105
Käyntipäiviä	d/a	340	340
Tuotanto	kt_{90} vtu/a	405	376

(taulukko 3). Tuotantomäärä on sama eri prosessivaihtoehdoissa R, H ja B.

Taselaskelmissa on käytetty maksimituotantolukuja. Vuosikustannuslaskelmissa on kuitenkin käytetty keskituotantolukuja.

3.2 Investointikustannukset

Investointikustannuslaskelmat on tehty kaikille kolmelle eri vaihtoehdolle: referenssi-, happivaihe- ja entsyymivaihetehdaille. Eri puuraaka-aineita (koivu ja mänty) ei ole otettu huomioon investointilaskelmissa, vaan laitteisto on sama molemmille raaka-aineille. Koivun ja männyn tuotantomääräerot tulevat kuitenkin esille käyttökustannuksissa ja siten kokonaiskustannuksien tarkasteluissa.

Kevään 1991 skandinaavisen kustannustason mukaisen 400 000 ADt/a -sulfaattisellutehtaan kokonaisinvestoinnin on arvioitu olevan 2 400 milj.FIM, mitä on pidetty laskelmien lähtökohtana referenssitehtaalte.

Happivaihe- ja entsyymivaihetehdäiden investointikustannuksia laskettaessa on

lähdetty referenssitehtaan kustannustasosta ja tehty siihen tarvittavat kustannusmuutokset prosessimuutoksien funktiona.

Happivaiheen mukaanotto referenssitehtaaseen aiheuttaa paitsi happivaiheen lisäyksen myös muutoksia klooridioksilaitoksen ja talteenottolinjan mitoitus: klooridioksidilaitoksen kapasiteetin tarve pienenee 34,5 → 21,0 t/d (liite 2.) ja talteenottolinjan kapasiteetin lisätarve on n. 5 %. Investointikustannuksissa on happivaiheen lisäys otettu mukaan uutena turn-key -pakettina, ja muut muutokset on laskettu kapasiteettiekspONENTIN mukaisena arviona. Happivaihetehdaan kokonaisinvestointikustannus on 2 539,4 milj.FIM, mikä on 139,4 milj.FIM eli 5,8 % kalliimpi kuin referenssitehtaan investointikustannus.

Entsyymivaiheen mukaanotto referenssitehtaaseen aiheuttaa muutoksena entsyymien annostelun ja pH-säädön laitteistolisäyksen sekä talteenottolinjan kapasiteetin lisäyksen n. 1,5 %. Klooridioksilaitoksen kapasiteettia voidaan pienentää 34,5 → 27,5 t/d. Vastaavat kustannusmuutokset kumoavat lähes kokonaan toisensa; entsyymivaihetehdaan kokonaisinvestointikustannukset ovat vain 0,3 milj.FIM kalliimmat kuin referenssitehtaan kustannukset.

Taulukossa 4 on esitetty eri vaihtoehtojen investointikustannusten muutokset osastotasoilla. Suluissa olevat luvut ovat säästöjä.

3.3 Saannot ja kemikaaliannostukset

Käytetyt kokonaissaannot on esitetty koivumassalle ja mäntymassalle taulukossa 5.

Laboratoriokokeissa on todettu, että saantohäviö entsyymikäsittelyssä ja sitä seuraavassa valkaisuussa on yhteensä n. 2 %-yksikköä suurempi koivumassan valmistuksessa ja n. 1 %-yksikköä suurempi mäntymassan valmistuksessa verrattuna konventionaaliseen valkaisuun. Näinollen entsyymivaihtoehdon kokonaissaanto on koivulla n. 1 %-yksikköä ja männyllä 0,5 %-yksikköä alhaisempi kuin referenssi-vaihtoehdon.

Kokonaissaannon mukaiset muuttuneet puuraaka-ainemäärät ja kuiva-ainekuormitukset soodakattilassa on esitetty yhteenvetona myös taulukossa 5. Eri vaihtoehtojen kuitutase sekä soodakattilaan menevä kuiva-ainemäärä on esitetty kuvassa 1 koivulle ja kuvassa 2 männylle.

Taulukko 4. "400-tehtaan" investointikustannukset.

REFERENSSITEHDAS 400 000 ADt/a

Uusinvestointina	2 400,0 MILJ. FIM
sisältäen	
– prosessiosastot	
– yhteiset prosessikustannukset	
– yleiset projektikustannukset	

REFERENSSITEHDAS + HAPPIVAIHE 400 000 ADt/a

Referenssitehdasosuus	2 400,0 MILJ. FIM
Muutososuudet,	
sisältäen	
– happivaiheen (turn-key –pakettina)	+130,0 MILJ. FIM
– klooridioksidilaitoksen muutokset	– 11,0 MILJ. FIM
– talteenottolinjan muutokset	+ 20,4 MILJ. FIM
Yhteensä	2 539,4 MILJ. FIM

REFERENSSITEHDAS + ENTSYYMIVAIHE 400 000 ADt/a

Referenssitehdasosuus	2 400,0 MILJ. FIM
Muutososuudet	
sisältäen	
– entsyymien lisäyksen	+ 0,5 MILJ. FIM
– klooridioksidilaitoksen muutokset	– 5,5 MILJ. FIM
– talteenottolinjan muutokset	+ 5,3 MILJ. FIM
Yhteensä	2 400,3 MILJ. FIM

Taulukko 5. Kokonaissaannot sekä eri prosessivaihtoehtojen puunkulutus, soodakattilan kuiva-ainekuormitus sekä muutokset referenssivaihtoehtoon verrattuna, kg/t₉₀ vtu.

Vaihtoehto	Kokonais- saanto, %	Puunkulutus ¹⁾		Kuiva-ainemäärä soodakattilaan	
		kg/t ₉₀ vtu	muutos	kg/t ₉₀ vtu	muutos
K400R	47,6	2 342	ref	1 405	ref
K400H	47,3	2 359	+ 17	1 462	+ 57
K400B	46,6	2 392	+ 52	1 435	+ 30
M400R	43,0	2 504	ref	1 630	ref
M400H	42,8	2 515	+ 11	1 712	+ 82
M400B	42,5	2 531	+ 27	1 648	+ 18

¹⁾ kuorellinen puu, absoluuttisen kuiva

Laboratorio- ja tehdaskokeissa on todettu, että valkaisuammoniumsulfaattimassan esikäsittely entsyymillä helpottaa ligniinin poistoa entsyymikäsittelyn jälkeisessä valkaisuissa. Entsyymikäsittelyllä päästään joko korkeampaan vaaleuteen tai alhaisempaan kloorikemikaalinkulutukseen. Kokeissa on päästy männillä keskimäärin 25 %:n säästöön aktiivikloorin kulutuksessa ensimmäisessä kloorivaiheessa, mikä on n. 15 %:n säästö kokonaiskulutuksessa. Koivusulfaattimassan valmistuksessa on päästy 30–35 %:n säästöön aktiivikloorin kulutuksessa ensimmäisessä kloorivaiheessa, joka vastaa n. 20 %:n säästöä aktiivikloorin kokonaiskulutuksessa.

Taulukossa 6 ja 7 on esitetty taselaskennassa käytetyt kemikaaliannostukset keitossa, happikäsittelyssä, entsyymikäsittelyssä sekä valkaisuissa.

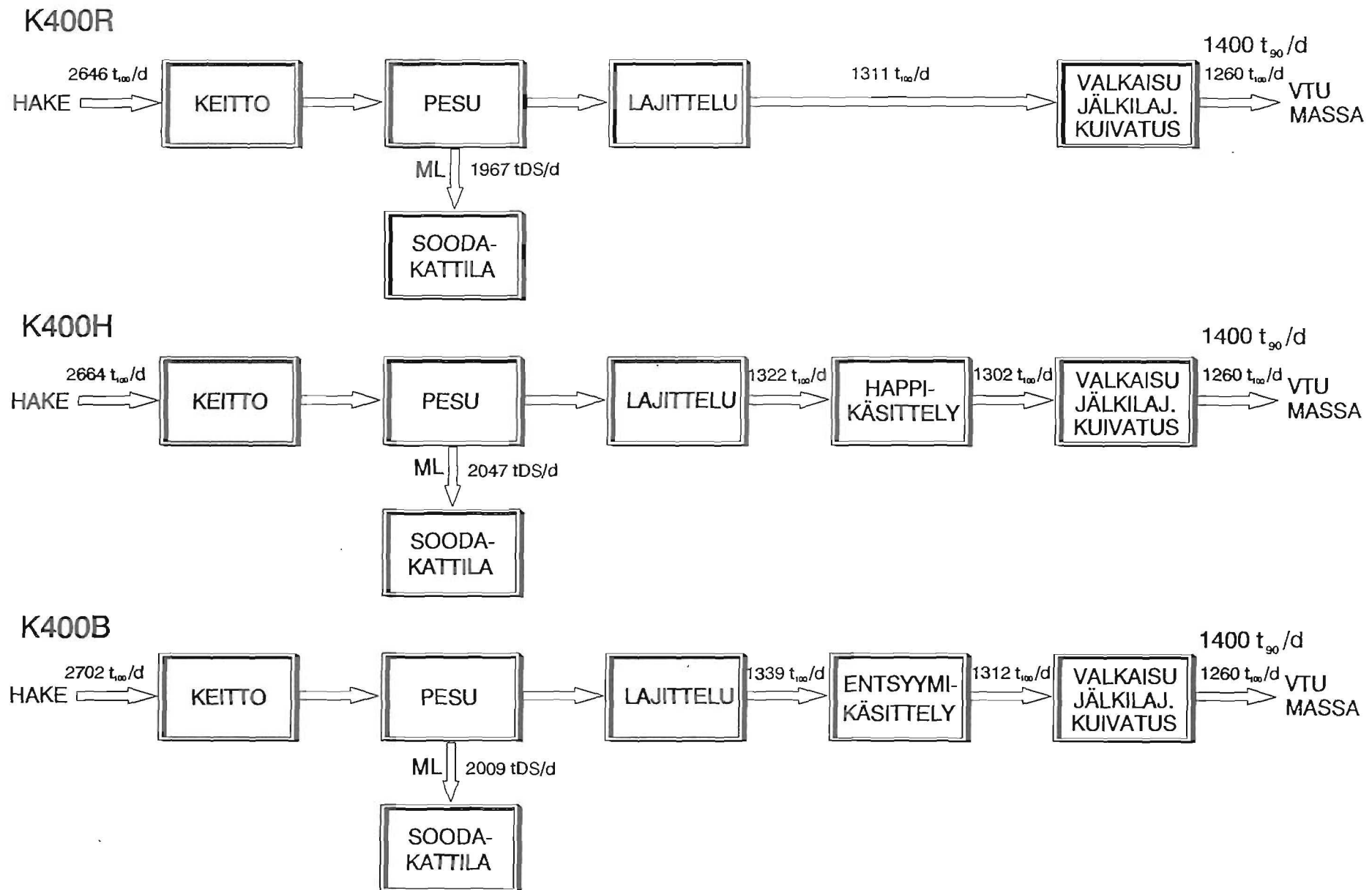
3.4 Käyttökustannukset

Käyttökustannuslaskelmat on tehty 6:lle eri vaihtoehdolle, joita ovat referenssi-, happi- ja entsyymivaihtoehto sekä puulajeina koivu ja mänty.

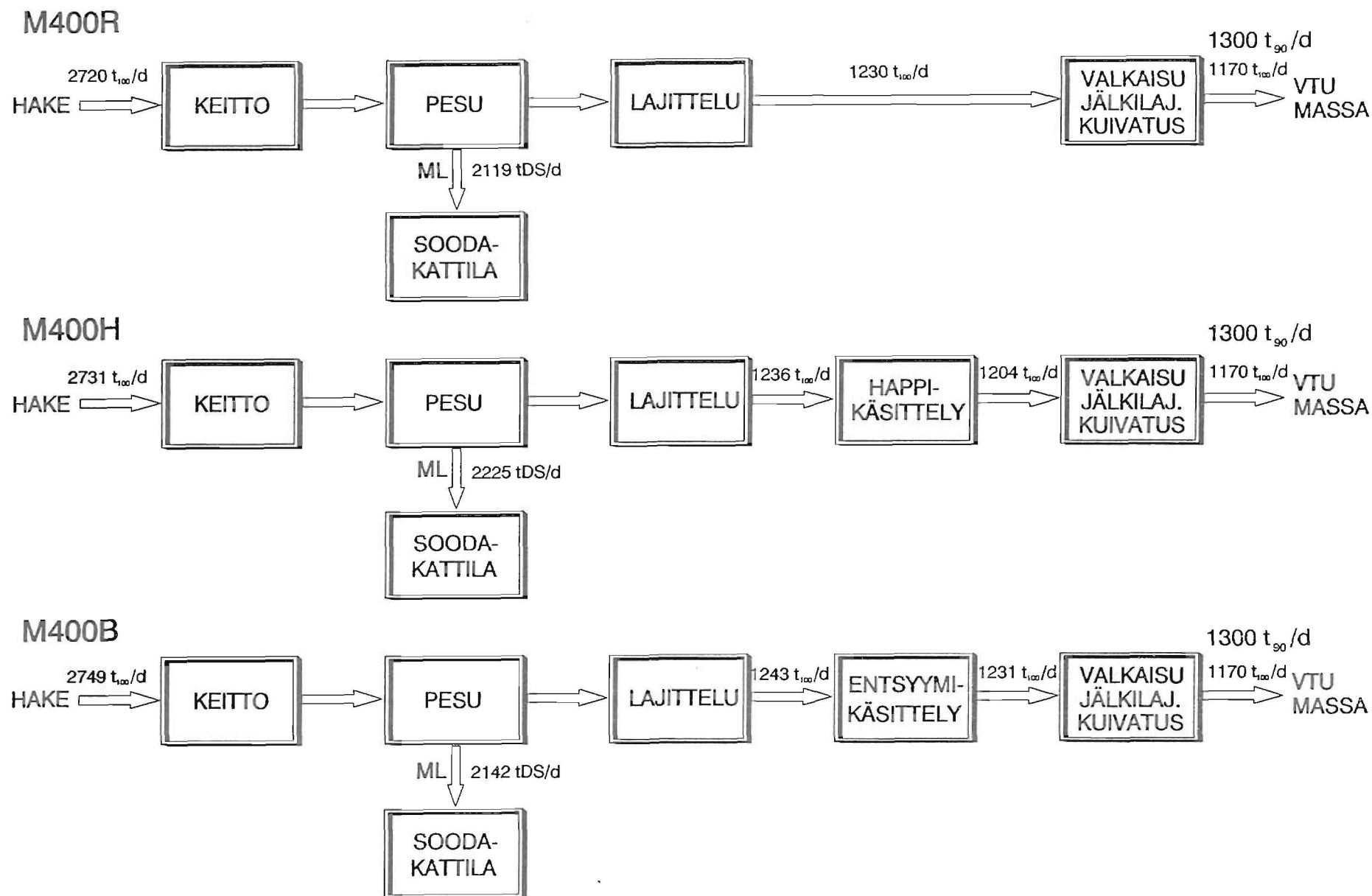
Käyttökustannuslaskelmissa on tarkasti eritelty puun, kemikaalien ja energian kulutukset, joihin prosessivaihtoehdot vaikuttavat merkittävimmin. Näiden tekijöiden ominaiskulutusluvut ovat tuloksia taselaskennasta. Yksikköhinnat ovat tarkistettuja kevään 1991 kotimaisia asiakashintoja (liite 3).

Muut muuttuvat kustannukset, kuten vesien käsittely sekä pakkaus- ja kunnossapitomateriaalien kustannukset, ovat vastaavien kotimaisten tehtaiden keskimääräisiä kustannuksia. Eri prosessivaihtoehdot vaikuttavat jäteveden käsittelykustannuksiin, mutta luotettavien BOD₇-mittauksien toistaiseksi puuttuessa ei ole mielekästä tehdä tässä yhteydessä kustannuserittelyä eri vaihtoehtojen välille. Samoin voi tarkemmin eriteltäessä olla pieniä eroavaisuuksia eri vaihtoehtojen kunnossapitokustannuksissa. Lähinnä muuttuvien materiaalikustannuksien erot voivat olla 1–2 FIM. Tässä esisuunnittelutasoisessa tutkimuksessa ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista tehdä yksityiskohtaista tarkastelua tarkkojen taustatietojen puuttuessa siitä, miten eri vaihtoehdot reaalitilanteessa vaikuttavat todelliseen kunnossapitotarpeeseen.

Muuttuvissa kustannuksissa on laskelmiin otettu mukaan myös energian tuotannon hyvitykset. Kiinteät käyttökustannukset, kuten työvoima- ja hallinnolliset kustannukset, ovat keskimääräisiä suomalaisia kustannustasoja tehdaskoon funktiona. Liitteessä 4 ovat yksityiskohtaiset erittelyt kunkin vaihtoehdon käyttökustannuslaskelmista. Taulukossa ovat eri vaihtoehtojen käyttökustannukset FIM/ADt (muuttuvat + kiinteät) yhteenvetona.



Kuva 1. Kuitutase ja kuiva-ainemäärä soodakattilaan. Tuotanto: 400 000 t₉₀/a valkaistua koivumassaa.



Kuva 2. Kuitutase ja kuiva-ainemäärä soodakattilaan. Tuotanto: 400 000 t_{90}/a valkaistua mäntymassaa.

Taulukko 6. Taselaskennassa täysvalkaistulle koivusulfaattimassalle käytetyt keiton, happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaaliannostukset.

OSASTO – kemikaali		Vaihtoehto		
		K400R	K400H	K400B
KEITTO				
– teholl. alkali (NaOH)	%	18,0	18,0	18,0
– sulfiditeetti	%	35	35	35
HAPPIKÄSITTELY				
– hapet. valkolipeä	kg NaOH/t ₉₀ vtu		10,0	
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu		11,0	
– MgSO ₄	kg/t ₉₀ vtu		1,0	
ENTSYYMIKÄSITTELY				
– entsyymi-liuos	l/t ₉₀ vtu			1,0
– H ₂ SO ₄ (93 %)	kg/t ₉₀ vtu			5,2
VALKAISU				
* C/D-vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	35,7	21,6	23,8
– Cl ₂ -kaasu	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	0,0	0,0	0,0
* EO-vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	16,4	9,9	10,9
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu	5,0	3,1	5,0
* D ₁ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	14,6	8,8	14,6
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	2,5	1,5	2,5
* D ₂ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	7,3	4,4	7,3
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	3,0	2,0	3,0
* kokonais akt. Cl	kg/t ₉₀ vtu	57,6	34,8	45,7
josta Cl ₂ :na	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	2,9	1,7	2,3

¹⁾ ClO₂-vesi sisältää n. 5 % Cl₂:ta (akt. Cl:na laskettu)
ClO₂:n substituutioaste C/D-vaiheessa on 100%.

Taulukko 7. Taselaskennassa täysvalkaistulle mäntysulfaattimassalle käytetyt keiton, happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaaliannostukset.

OSASTO		Vaihtoehto		
– kemikaali		M400R	M400H	M400B
KEITTO				
– teholl. alkali (NaOH)	%	18,0	18,0	18,0
– sulfiditeetti	%	35	35	35
HAPPIKÄSITTELY				
– hapet. valkolipeä	kg NaOH /t ₉₀ vtu		16,0	
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu		19,0	
– MgSO ₄	kg/t ₉₀ vtu		2,0	
ENTSYYMIKÄSITTELY				
– entsyymi-liuos	l/t ₉₀ vtu			1,0
– H ₂ SO ₄	kg/t ₉₀ vtu			5,2
VALKAISU				
* C/D-vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	23,8	13,5	17,5
– Cl ₂ -kaasu	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	23,8	13,5	17,5
* EO -vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	21,9	12,4	16,1
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu	5,0	3,0	5,0
* D ₁ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	21,1	12,0	21,1
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	3,5	2,3	3,5
* D ₂ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	10,6	6,0	10,6
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	4,3	3,0	4,3
* kokonais akt. Cl	kg/t ₉₀ vtu	79,3	45,0	66,7
josta Cl ₂ :na	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	26,6	15,1	20,0

¹⁾ClO₂-vesi sisältää n. 5 % Cl₂ (akt Cl:na laskettu)
ClO₂:n substituutioaste C/D-vaiheessa on 50%.

Taulukko 8. Eri vaihtoehtojen käyttökustannukset

Vaihtoehto	Käyttökustannukset FIM/ADT	Ero referenssitehtaaseen FIM/ADT
K400R	1 599	+ –
K400H	1 563	–36
K400B	1 616	+17
M400R	1 931	+ –
M400H	1 885	–46
M400B	1 947	+16

Taulukko 9. Käyttökustannusvertailu. Puunkulutuksen sekä happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaalien kustannusmuutokset sekä muuttuvat kokonaiskäyttökustannukset, FIM/ADt. Suluissa referenssivaihtoehdon kustannukset.

Vaihtoehto	Puu	Käyttökustannusmuutos		Kokonais- käyttö- kustannus	
		Happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaalit	Yhteensä	Muuttuvat	Muutos
K400R	(1 122)	(151)	(1 273)	1 439	ref
K400H	+ 8	-50	-42	1 403	-36
K400B	+24	- 3	+21	1 456	+17
M400R	(1 471)	(170)	(1 641)	1 771	ref
M400H	+ 6	-59	-53	1 725	-46
M400B	+16	+ 3	+19	1 787	+16

Happi- ja entsyymitehtaiden käyttökustannusten erot suhteessa referenssitehtaaseen selittyvät suurimmalta osin puunkulutuksen ja happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn sekä valkaisun kemikaalien muutoksilla. Taulukossa 9 on tarkemmin selvitelty näiden tekijöiden vaikutusta.

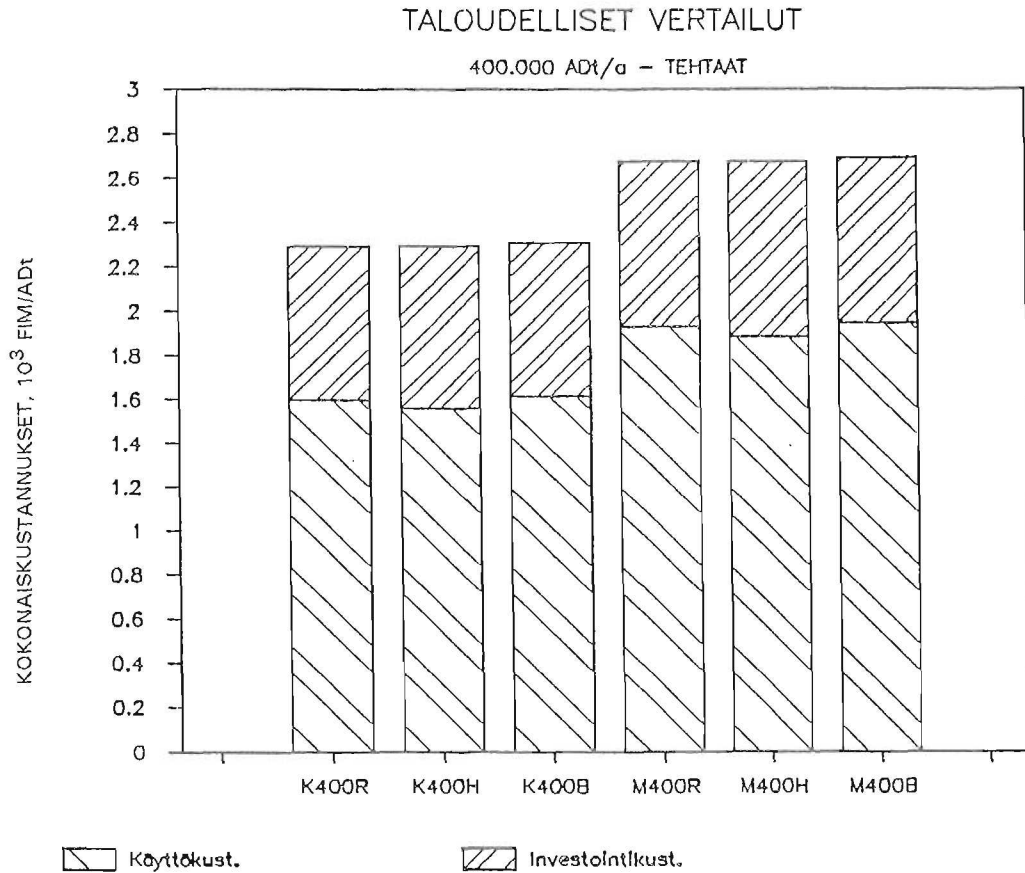
3.5 Taloudelliset vertailut ja herkkyysanalyysi

Kokonaiskuvan saamiseksi eri vaihtoehtojen taloudellisuudesta on syytä tarkastella vielä yhteenlaskettuja investointi- ja käyttökustannuksia vaihtoehtojen välillä.

Seuraavassa kuvassa olevat käyttökustannukset sisältävät myös kiinteät käyttökustannukset. Investointikustannukset, jotka sisältävät sekä suorat prosessikustannukset että epäsuorat projektikustannukset on jaettu tasapoistoina 15 vuodelle. Pääomakustannuksissa on otettu huomioon 10 %:n korko sidotulle pääomalle.

Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuserot referenssitehtaaseen nähden ovat taulukossa 10.

Verrattaessa kokonaiskustannuksia käyttökustannuksiin voidaan todeta, että happivaihtoehdon edullisuus referenssitehtaaseen verrattuna kaventuu (eron muutos esim. männyn tapauksessa on -46 → -2 FIM/ADt), kun taas entsyymivaihtoehdossa ero (+ 16 FIM/ADt) pysyy samana johtuen investointien samasta suuruusluokasta. Investointien suuruuseroilla ja myös poistoajoilla sekä pääomakulujen arvostuksella on siis merkittävä osuus kokonaiskustannustarkastelussa. Kuvissa 4 ja 5 on esimerkin



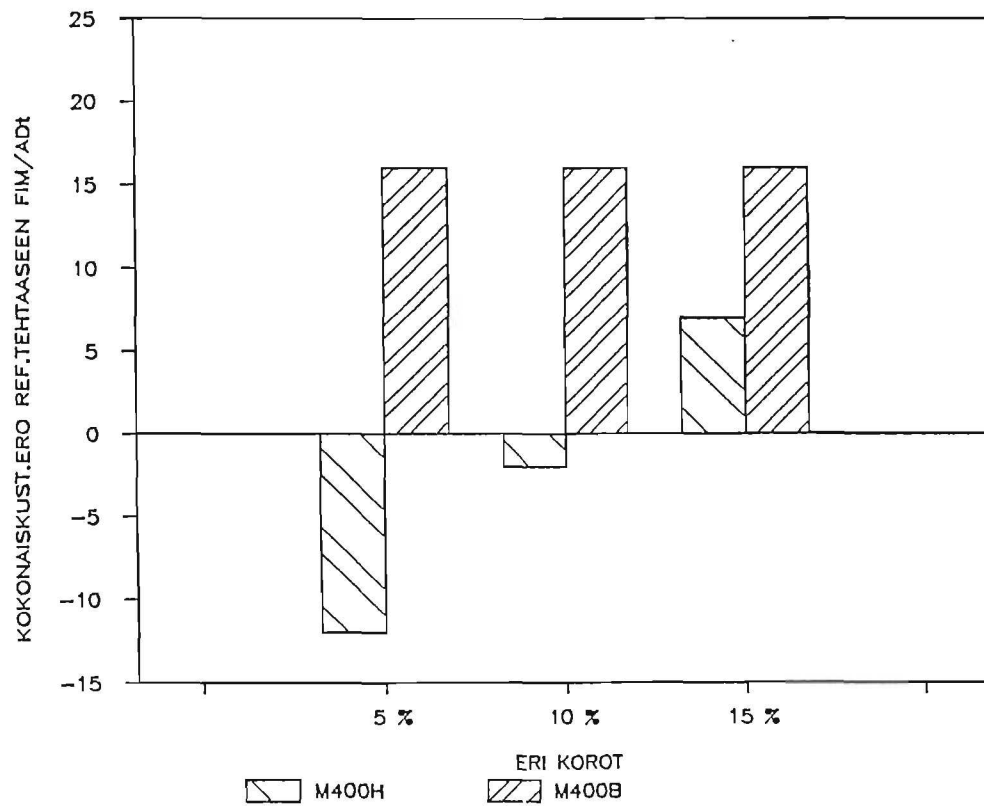
Kuva 3. Eri vaihtoehtojen käyttö- ja investointikustannukset.

Taulukko 10. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset

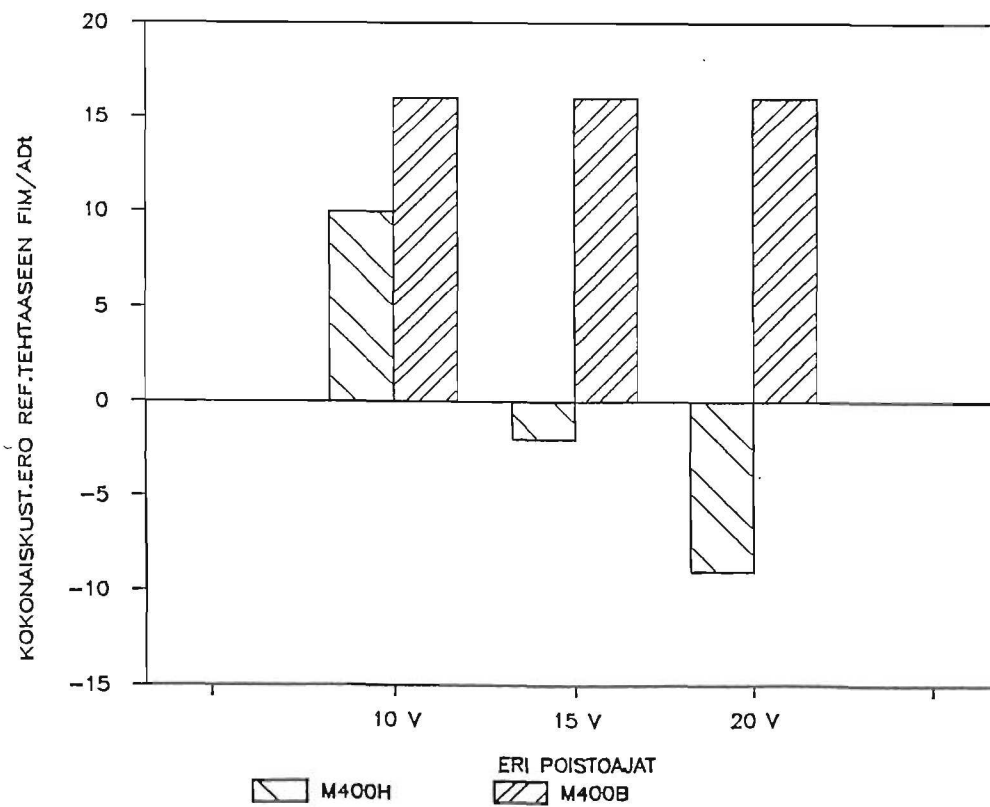
Vaihto- ehto	Käyttö- kustannukset FIM/ADt	Investointi- kustannukset FIM/ADt	Yhteensä FIM/ADt	Ero ref. tehtaaseen FIM/ADt	Vuosittaiset kustannukset milj. FIM
K400R	1 599	692	2 291	+ –	927
K400H	1 563	731	2 294	+ 3	928
K400B	1 616	692	2 308	+17	934
M400R	1 931	745	2 676	+ –	1 005
M400H	1 885	789	2 674	– 2	1 005
M400B	1 947	745	2 692	+16	1 011

omaisesti kuvattu kokonaiskustannuksien herkkyyttä pääoman koron ja poistoajan funktiona männyn tapauksessa.

Kuvista 4 ja 5 voidaan todeta, että pitkä poisto aika ja matala korko lisäävät happivaihtoehdon taloudellisuutta sekä lyhyt poisto aika ja korkea korko heikentävät happivaihtoehdon taloudellisuutta referenssitehtaaseen verrattuna. Entsyymivaihtoehdon



Kuva 4. Pääoman herkkyyssanalyysi koron vaihteluiden funktiona. Poistoaikana pidetty 15 vuotta.

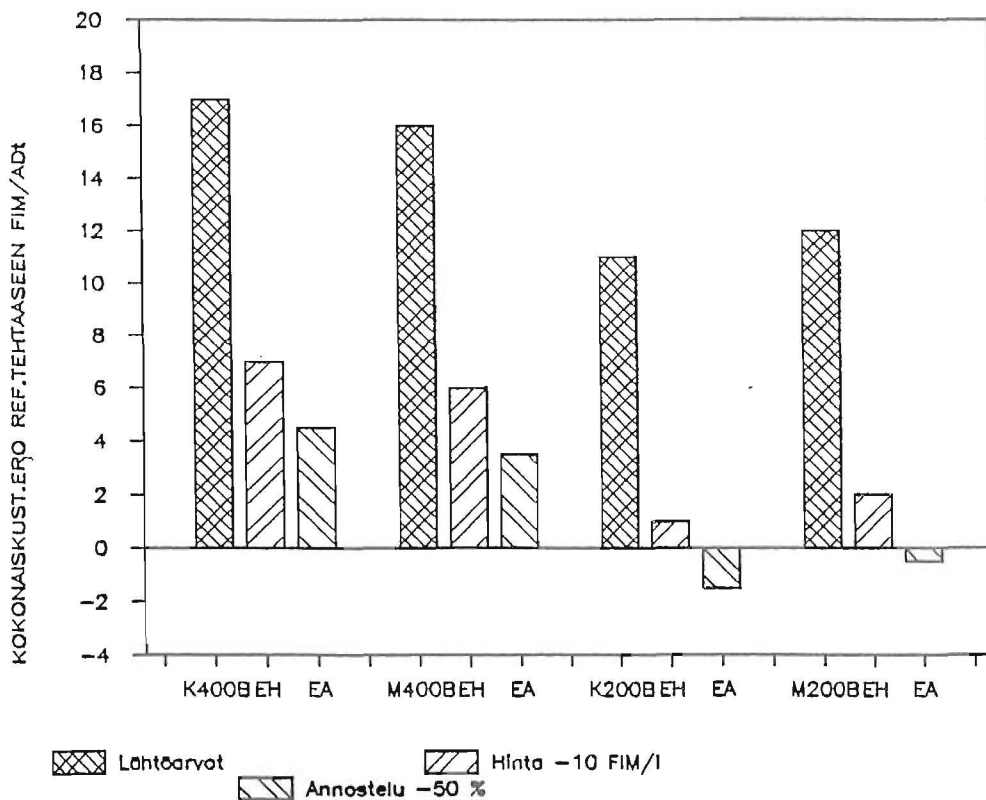


Kuva 5. Pääoman herkkyyssanalyysi poistoaajan funktiona. Sidotun pääoman korkona pidetty 10 %.

taloudellisuus suhteessa referenssitehtaaseen pysyy vakiona johtuen näiden vaihtoehtojen pienestä investointikustannuserosta.

Taloudellisuustarkasteluissa on syytä ottaa huomioon myös entsyymivaihtoehdon uutuusaste, mikä ilmenee esim. toisaalta entsyymin hinnan vakiintumattomuutena, toisaalta entsyymin ominaiskulutuksen mahdollisena pientymisenä tulevaisuudessa. Näiden tekijöiden vaikutuksesta voi olla odotettavissa entsyymivaihtoehdon taloudellisuuden paraneminen. Kuvassa 6 on esitetty kokonaiskustannusten erojen pientyminen referenssitehtaaseen nähden esimerkinomaisesti kahdelle eri tapaukselle:

- Esimerkki EH – Entsyymin hinta pudotettu laskennallisesta arvosta 25 FIM/l arvoon 15 FIM/l; eli kustannusvaikutus –10 FIM/l
- Esimerkki EA – Entsyymin annostelu pudotettu laskennallisesta arvosta 1 l/ADt puoleen eli arvoon 1/2 l/ADt; kustannusvaikutus on –12,5 FIM/ADt



Kuva 6. Entsyymin hinnan tai annostelun pudotuksen vaikutus kokonaiskustannusten eroihin.

4 "200 – TEHDAS" (VANHA TEHDAS)

4.1 Prosessikuvaus ja tuotanto

Tässä tarkastelussa referenssitehtaaksi on valittu tehdas, joka edustaa jo vuosia käytössä ollutta tehdasta. Referenssitehtaaseen lisätään joko happivaihe tai entsyymivaihe ennen valkaisua. Rajoittava tekijä tässä tarkastelussa on talteenottolinjan pullonkaula, soodakattila. Taselaskelmissa on siis soodakattilaan menevä kuiva-ainemäärä (t kuiva-ainetta/d) pidetty samana kaikissa vaihtoehdoissa.

Referenssivaihtoehdoksi on valittu tehdaskonsepti, joka edustaa melko uudenaikaista skandinaavista tehdasta. Lyhyesti kuvattuna prosessi on seuraavanlainen:

Puunkäsittely	kuiva kuorimo
Keittä-mö-pesemö	jatkuva keitin, konventionaalinen keitto 3 tunnin hi-heat, painediffusööri, säteispesuri
Lajittamo	kolmivaiheinen lajittelu, painesuodatin
Valkaisu	C/D-Eo-D ₁ -E ₂ -D ₂ , - C/D-vaiheessa: 80% ClO ₂ koivulle 30% ClO ₂ männylle
Jälkilajittamo	nelivaiheinen pyörrepuhdistus
Kuivatuskone	kuivatuskone arkkileikkureineen
Kemikaalien talteenotto	viisivaiheinen haihduttamo sekä loppuväkevöinti, vahva mustalipeän väkevyys 73 % soodakattila, kolmekammioinen sähkösuodatin ja alkaliskrubberi kaustisointilaitos meesauuni, sähkösuodatin ja savukaasupesuri valkolipeän hapetuslaitos vuotolipeän keräilyjärjestelmä hajukaasujen käsittelyjärjestelmä kaustisointiaste 82 % pelkistysaste 94 % sulfiditeetti 35 %
Klooridioksidilaitos	Mathieson-menetelmä

Vaihtoehtoihin, joissa on **happikäsittely** ennen valkaisua (K200H ja M200H), on lisätty keskisakeus–happireaktori, yksivaihediffusööri sekä pesupuristin.

Vaihtoehtoissa, joissa on **entsyymikäsittely** ennen valkaisua (K200B ja M200B), on lisätty pH–säätökemikaalin ja entsyymin annostus massatorniin ennen valkaisua. Massatornissa liennut orgaaninen aines kulkeutuu massavirran mukana valkaisuun ja sitä kautta jätevesiin. Klooridioksidilaitokselta tulevaa jätehappoa on käytetty pH:n säätökemikaalina.

Kappaluvut keiton ja happikäsittelyn jälkeen on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Kappaluvut keiton ja happikäsittelyn jälkeen koivu–ja mäntysulfaattimassan valmistuksen eri prosessivaihtoehtoissa.

Vaihtoehto	Kappaluku	
	keiton jälkeen	happikäsittelyn jälkeen
K200R	19	13
K200H	19	
K200B	19	
M200R	30	18
M200H	30	
M200B	30	

Referenssitehtaan tuotantoluvut koivu– ja vastaavasti mäntysulfaattimassan valmistuksessa on esitetty taulukossa 12. Keskimääräiseksi tuotantotasoksi valittiin 200 000 ADt/a, joka on samaa suuruusluokkaa kuin mitä yhdellä massalinjalla tuotetaan skadinaavisessa sulfaattitehtaassa.

Sekä koivu– että mäntysulfaattimassan valmistus tapahtuu samalla laitteistolla. Koska määräävänä tekijänä tässä tapauksessa on soodakattilan kapasiteetti, valkaistun koivusulfaattimassan ja valkaistun mäntysulfaattimassan tuotantomäärät on säädetty siten, että soodakattilan kuiva–ainemäärä on kaikissa vaihtoehtoissa sama kuin vaihtoehdossa M200R, eli 1005 t/d.

Taselaskelmissa on käytetty maksimituotantolukuja. Vuosikustannuslaskelmissa on kuitenkin käytetty keskituotantolukuja.

Tuotantomäärät myös muiden vaihtoehtojen osalta (vaihtoehdot H ja B) on esitetty taulukoissa 14 ja 15.

Taulukko 12. Referenssitehtaan valkaistun koivu- sekä mäntysulfaattimassan tuotantolukuja. Soodakattilakuormitus on 1 005 t kuiva-ainetta /d.

		Koivu	Mänty
Maksimi jatkuva tuotanto	t_{90} vtu/d	735	650
Keskituotanto (85% maksimituotannosta)	t_{90} vtu/d	625	553
Käyntipäiviä	d/a	340	340
Tuotanto	kt_{90} vtu/a	213	188

4.2 Investointikustannukset

Investointikustannuslaskelmat on tehty kolmelle vaihtoehdolle: referenssi-, happivaihe- ja entsyymivaihetehdaille. Eri puuraaka-aineita (koivu ja mänty) ei ole otettu huomioon investointilaskelmissa, vaan laitteisto on sama molemmille raaka-aineille.

Referenssitehdas on tässä tapauksessa oletettu jo poistetuksi eli investointien vertailuissa tarkastellaan vain marginaalisia uusinvestointeja. Valmiin tehtaan kyseessä ollessa ei voida myöskään tehdä happi- ja entsyymivaihetehdäiden kapasiteettimuutoksia klooridioksidilaitokseen tai talteenottolinjaan, vaan muutokset otetaan huomioon erilaisina tuotannon läpimenoina käyttöpuolella.

Happivaiheen lisäys turn-key -pakettina tuo lisäkustannuksia 85,0 milj. FIM.

Entsyymivaihetehdaassa on uusinvestointeina otettu mukaan entsyymien annostelulaitteisto, pH:n säätöjärjestelmä sekä mustan massatornin vuoraus haponkestäväksi. Näiden investointien kustannuksien on arvioitu olevan 1,4 milj. FIM.

Ohessa taulukko tehdasvaihtoehtojen investointilaskelmista (taulukko 13).

Edellä olevat laskelmien perusteet ovat siis teoreettisia ja ne on valittu tätä tutkimusta varten. Jos halutaan tehdä taloudellisuusvertailuja jo toiminnassa oleviin tehtaisiin käytännön tilanteessa, on syytä sovittaa poistojaksotus tapauskohtaisesti todellisuutta vastaavaksi. Kuten "400-tehtaan" laskelmista nähdään, on pääomakustannuksilla merkittävä osuus kokonaiskustannusvertailussa. Käyttökustannuksien perusteella tehdyn taloudellisuusvertailun tuloksien järjestys voi hyvinkin vaihtua sen mukaan, miten pääomakulut otetaan huomioon.

Taulukko 13. "200-tehtaan investointikustannukset.

REFERENSSITEHDAS 200 000 ADt/a

Uusininvestointina	1 520,0 MILJ. FIM
sisältäen:	
– prosessiosastot	
– yhteiset prosessikustannukset	
– yleiset projektikustannukset	
Vanha tehdas oletetaan jo poistetuksi	
eli jäljellä oleva tehdasarvo	0,0 MILJ. FIM

REFERENSSITEHDAS + HAPPIVAIHE 200 000 ADt/a

Referenssitehdasosuus	0,0 MILJ. FIM
Muutososuudet	85,0 MILJ. FIM
– happivaihe turn-key –pakettina	
Muihin osastoihin vaikuttavia laitekokemuutoksia ei tehdä vanhaan tehtaaseen, vaan muutokset otetaan huomioon erilaisina tuotannon läpimenoina käyttöpuolella.	
Yhteensä	85,0 MILJ. FIM

REFERENSSITEHDAS + ENTSYYMIVAIHE 200 000 ADt/a

Referenssitehdasosuus	0,0 MILJ. FIM
Muutososuudet	1,4 MILJ. FIM
turn-key –pakettina sisältäen:	
– entsyymiannostelun	
– pH-säädön	
– säiliöiden vuorauksen haponkestäviksi	
Muihin osastoihin vaikuttavia laitekokemuutoksia ei tehdä vanhaan tehtaaseen, vaan muutokset otetaan huomioon erilaisina tuotannon läpimenoina käyttöpuolella.	
Yhteensä	1,4 MILJ. FIM

4.3 Saannot, tuotannot ja kemikaaliannostukset

Tässä tarkastelussa käytetyt kokonaissaannot on esitetty koivupuulle ja mäntypuulle taulukossa 14.

Laboratoriokokeissa on todettu että saantohäviö entsyymikäsittelyssä ja sitä seuraavassa valkaisuussa on yhteensä n. 2 %-yksikköä suurempi koivumassan valmistuksessa ja n. 1 %-yksikköä suurempi mäntymassan valmistuksessa verrattuna konventionaaliseen valkaisuun. Näin ollen entsyymivaihtoehdossa kokonaissaanto on koivulla n. 1 %-yksikköä ja männyllä 0,5 %-yksikköä alhaisempi kuin referenssivaihtoehdossa.

Taulukko 14. Kokonaissaannot, eri prosessivaihtoehtojen puunkulutus ja soodakattilan kuiva-ainekuormitus, sekä muutokset referenssivaihtoehtoon verrattuna.

Vaihtoehto	Kokonaissaanto, %	Puunkulutus, ¹⁾ kg/t ₉₀ vtu		Kuiva-ainemäärä, kg/t ₉₀ vtu	
		kulutus	muutos	soodakattilaan	muutos
K200R	47,9	2 330	ref	1 367	ref
K200H	47,5	2 346	+ 16	1 430	+ 63
K200B	46,9	2 380	+ 50	1 396	+ 29
M200R	43,6	2 470	ref	1 547	ref
M200H	43,3	2 487	+ 17	1 648	+101
M200B	43,1	2 497	+ 27	1 565	+ 18

¹⁾ kuorellinen puu, absoluuttisen kuiva

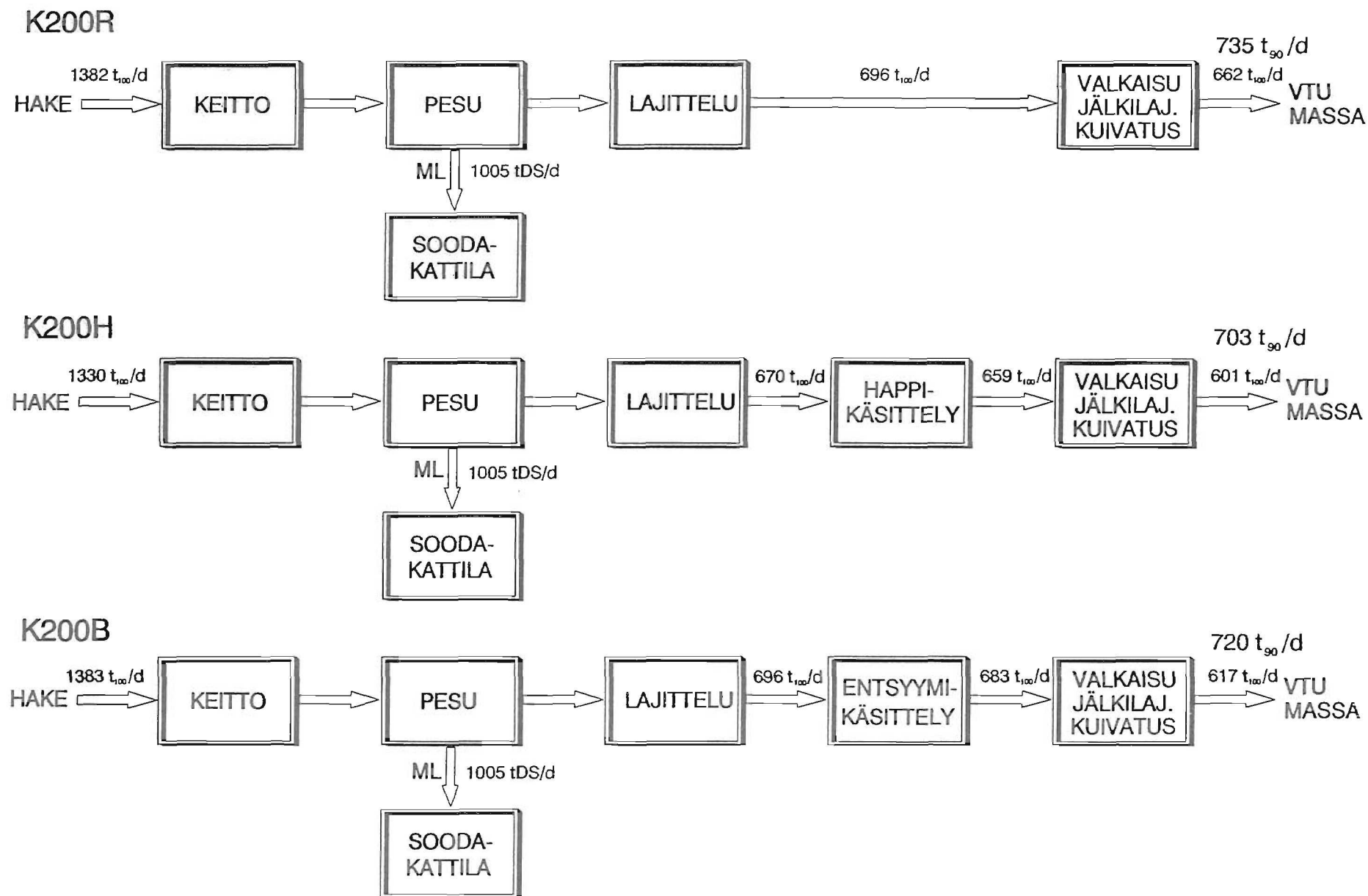
Taulukko 15. Valkaistun koivusulfaattimassan tuotantoluvut. Soodakattilakuormitus on kaikissa vaihtoehtoissa 1 005 t kuiva-ainetta/d.

	Vaihtoehto		
	K200R	K200H	K200B
Maksimi jatkuva tuotanto t ₉₀ vtu/d	735	703	720
Keskituotanto t ₉₀ vtu/d (85% maksimituotannosta)	625	598	612
Käyntipäiviä d/a	340	340	340
Tuotanto kt ₉₀ vtu/a	213	203	208

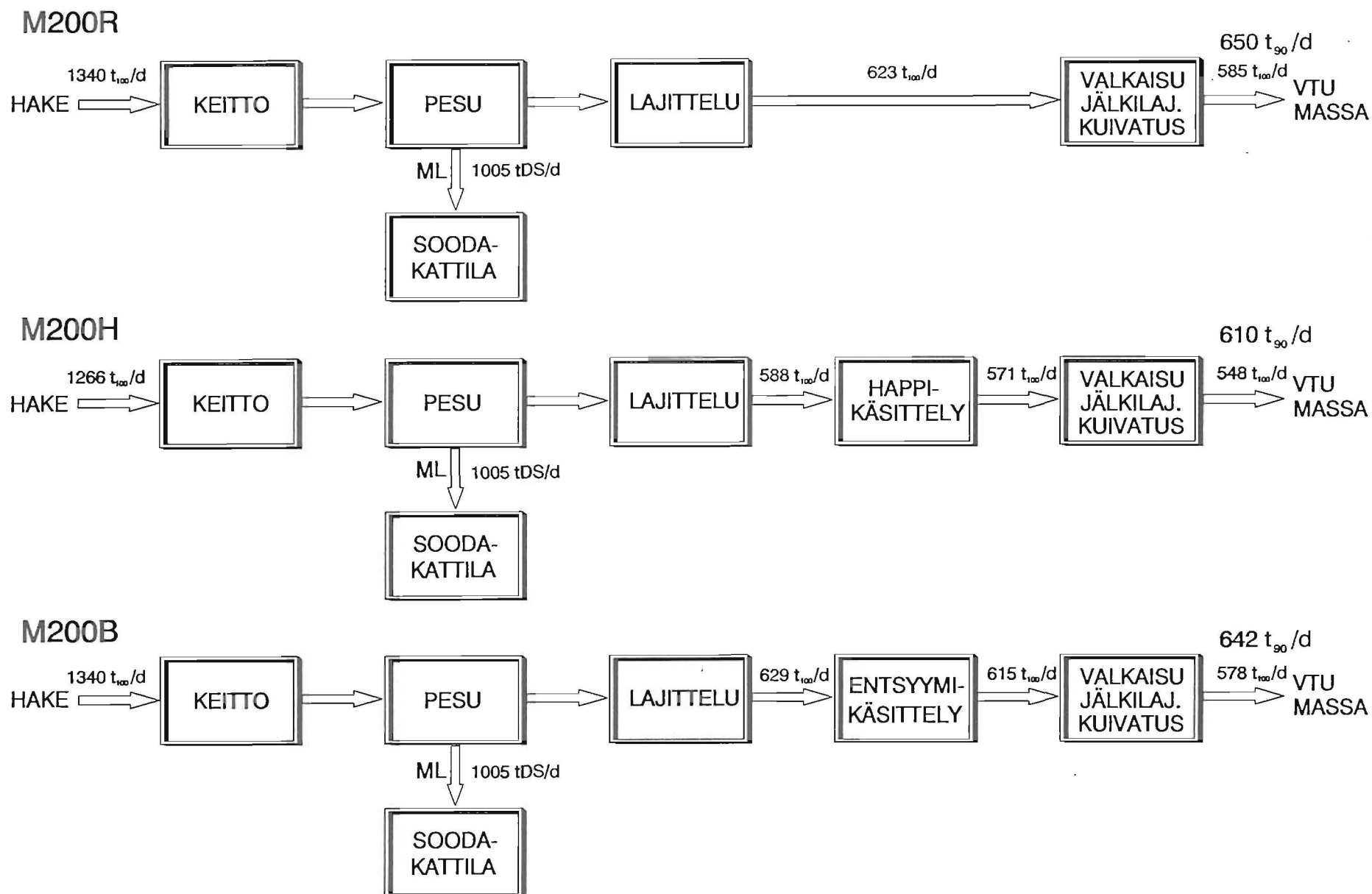
Kokonaissaannon ja soodakattilan vakion kuiva-ainekuormituksen (1005 t kuiva-ainetta/d) mukaiset muuttuneet puuraaka-ainemäärät ja soodakattilan johdettavat kuiva-ainemäärät, kg/ADt vtu, on esitetty yhteenvetona taulukossa 14.

Eri vaihtoehtojen kuitutase ja soodakattilaan menevä kuiva-ainemäärä on esitetty kuvassa 7 koivulle ja kuvassa 8 männyllä. Valkaistun koivusulfaattimassa tuotantoluvut eri prosessivaihtoehtoilta on esitetty taulukossa 15. Vastaavat tuotantoluvut mäntysulfaattimassalle on esitetty taulukossa 16.

Laboratorio- ja tehdaskokeissa on todettu, että valkaisemattoman sulfaattimassan esikäsittely entsyymillä helpottaa ligniinin poistoa entsyymikäsittelyn jälkeisessä valkaisuissa. Entsyymikäsittelyllä päästään joko korkeampaan vaaleuteen tai alhaisempaan kloorinkulutukseen. Kokeissa on päästy männyllä keskimäärin 25 %:n säästöön aktiivikloorin kulutuksessa ensimmäisessä kloorausvaiheessa, mikä on n. 15 %:n säästö aktiivikloorin kokonaiskulutuksessa. Koivusulfaattimassan valmistuksessa



Kuva 7. Kuitutase ja kuiva-ainemäärä soodakattilaan. Tuotanto: 200 000 t₉₀/a valkaistua koivumassaa.



Kuva 8. Kuitutase ja kuiva-ainemäärä soodakattilaan. Tuotanto: 200 000 t₉₀/a valkaistua mäntymassaa.

Taulukko 16. Valkaistun mäntysulfaattimassan tuotantoluvut. Soodakattilakuormitus on kaikissa vaihtoehtoissa 1 005 t kuiva-ainetta/d.

		Vaihtoehto		
		M200R	M200H	M200B
Maksimi jatkuva tuotanto	t_{90} vtu/d	650	610	642
Keskituotanto	t_{90} vtu/d	553	519	546
(85% maksimituotannosta)				
Käyntipäiviä	d/a	340	340	340
Tuotanto	kt_{90} vtu/a	188	175	186

on päästy vastaavasti 30–35 %:n säästöön, joka vastaa n. 20 %:n säästöä aktiivikloorin kokonaiskulutuksessa.

Laboratoriokokeissa on havaittu , että entsyymikäsittelyn massan korkeampi COD–pesuhäviö (johtuen orgaanisen aineksen liukenemisesta entsyymikäsittelyssä) ei lisää kloorikemikaalien kulutusta ja näinollen todennäköisesti ei myöskään AOX:ää. Näinollen tuorevesipesuri ennen valkaisua ei ole tarpeellinen entsyymikäsittelyssä liuenneen orgaanisen aineksen poistamiseksi. Tuorevesipesurilla on sen sijaan merkitystä, kun halutaan vähentää valkaisuun tulevien ligniinikomponenttien määrää.

Taulukossa 17 ja 18 on esitetty taselaskennassa käytetyt kemikaaliannostukset keitossa, happikäsittelyssä, entsyymikäsittelyssä ja valkaisussa.

4.4 Käyttökustannukset

Käyttökustannuksien laskennassa on noudatettu samoja periaatteita kuin edellä olevissa uuden tehtaan laskelmissa (kohta 3.4). Kustannuslaskelmiin on otettu taseesta oleellisesti vaihtelevat ominaiskulutusluvut. Yksikköhinnat ovat tarkastettuja kevään 1991 kotimaisia asiakashintoja (liite 3).

Liitteessä 5 on yksityiskohtaisesti eritelty kunkin vaihtoehdon käyttökustannuslaskelmat. Taulukossa 19 ovat eri vaihtoehtojen käyttökustannukset FIM/ADt (muuttuvat + kiinteät) yhteenvetona.

Happi- ja entsyymivaihtoehtojen käyttökustannusten erot suhteessa referenssi-tehtaaseen selittyvät suurimmalta osin puunkulutuksen sekä happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn sekä valkaisun kemikaalien muutoksilla kuten uudessakin tehtaassa. Taulukossa 20 on tarkemmin selvitelty näiden tekijöiden vaikutusta.

Entsyymikäsittelyn tarvitsema pH-säätö on tässä tapauksessa tehty klooridioksidilaitoksen jätehapolla, koska sitä on ylimäärin tehtaalla (Mathieson-menetelmä). Mikäli jätehappoa ei haluta käyttää, nousevat entsyymikäsittelyn kemikaalikustannukset n. 3 FIM/ADt, eli K200B-vaihtoehdossa kemikaalikustannussäästö on 8 FIM/ADt ja M200B-vaihtoehdossa \pm 0 FIM/ADt.

Taulukko 17. Taselaskennassa täysvalkaistulle koivusulfaattimassalle käytetyt keiton, happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaaliannostukset.

OSASTO – kemikaali		Vaihtoehto		
		K200R	K200H	K200B
KEITTO				
– teholl. alkali (NaOH)	%	17,5	17,5	17,5
– sulfiditeetti	%	35	35	35
HAPPIKÄSITTELY				
– hapet. valkolipeä	kg NaOH/t ₉₀ vtu		10,5	
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu		11,5	
– MgSO ₄	kg/t ₉₀ vtu		1,0	
ENTSYYMIKÄSITTELY				
– entsyymi-liuos	l/t ₉₀ vtu			1,0
– jätehappoa (lask. H ₂ SO ₄ :na, 93 %)	kg/t ₉₀ vtu			5,2
VALKAISU				
* C/D-vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	35,0	20,8	22,8
– Cl ₂ -kaasu	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	8,7	5,2	5,7
* EO-vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	20,1	12,0	13,1
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu	5,0	3,1	5,0
* D ₁ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	17,9	10,6	17,9
* E ₂ -vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	6,0	3,5	6,0
* D ₂ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	8,9	5,3	8,9
* kokonais akt. Cl	kg/t ₉₀ vtu	70,5	41,9	55,3
josta Cl ₂ :na	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	8,7	5,2	5,7

ClO₂:n substituutioaste C/D-vaiheessa on 80%.

Taulukko 18. Taselaskennassa täysvalkaistulle mäntysulfaattimassalle käytetyt keiton, happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaaliannostukset.

OSASTO – kemikaali		Vaihtoehto		
		M200R	M200H	M200B
KEITTO				
– teholl. alkali (NaOH)	%	17,0	17,0	17,0
– sulfiditeetti	%	35	35	35
HAPPIKÄSITTELY				
– hapet. valkolepää	kg NaOH/t ₉₀ vtu		18,0	
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu		21,0	
– MgSO ₄	kg/t ₉₀ vtu		2,0	
ENTSYYMIKÄSITTELY				
– entsyymi-liuos	l/t ₉₀ vtu			1,0
– jätehappoa (lask. H ₂ SO ₄ :na, 93 %)	kg/t ₉₀ vtu			5,2
VALKAISU				
* C/D-vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	18,9	10,8	14,4
– Cl ₂ -kaasu	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	44,1	25,2	33,6
* EO-vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	29,0	16,6	22,1
– O ₂	kg/t ₉₀ vtu	5,0	3,0	5,0
* D ₁ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu ¹⁾	25,5	16,0	25,5
* E ₂ -vaihe				
– NaOH	kg/t ₉₀ vtu	8,5	5,3	8,5
* D ₂ -vaihe				
– ClO ₂	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	12,7	8,0	12,7
* kokonais akt. Cl	kg/t ₉₀ vtu	101,2	60,0	86,2
josta Cl ₂ :na	kg akt. Cl/t ₉₀ vtu	44,1	25,2	33,6

ClO₂:n substituutioaste C/D-vaiheessa on 30 %.

Taulukko 19. Eri vaihtoehtojen käyttökustannukset.

Vaihtoehto	Käyttökustannus FIM/ADt	Ero referenssitehtaaseen FIM/ADT
K200R	1 659	+ –
K200H	1 611	–48
K200B	1 669	+10
M200R	1 995	+ –
M200H	1 931	–64
M200B	2 006	+11

Taulukko 20. Käyttökustannusvertailu. Puunkulutuksen sekä happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaalien kustannusmuutokset sekä muuttuvat kokonaiskäyttökustannukset, FIM/ADt. Suluissa referenssivaihtoehdon kustannukset.

Vaihtoehto	Puu	Käyttökustannusmuutos		Kokonais- käyttö- kustannus	
		Happikäsittelyn, entsyymikäsittelyn ja valkaisun kemikaalit	Yhteensä	Muuttuvat	Muutos
K200R	(1 116)	(174)	(1 283)	1 459	ref
K200H	+ 8	-62	-54	1 411	-48
K200B	+24	-11	+13	1 469	+10
M200R	(1 451)	(213)	(1 656)	1 795	ref
M200H	+10	-71	-61	1 731	-64
M200B	+16	- 3	+13	1 806	+11

4.5 Taloudelliset vertailut

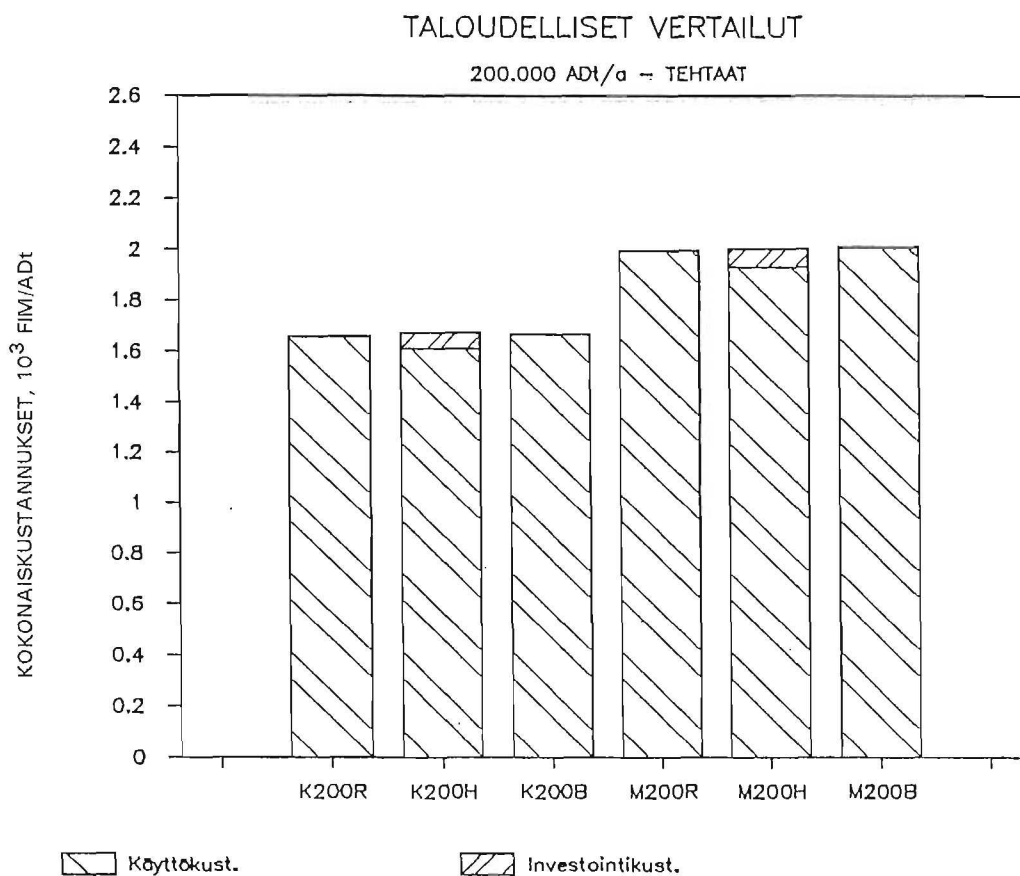
Tarkastellaan yhteenlaskettuja investointi- ja käyttökustannuksia vaihtoehtoit-
tain.

Seuraavassa kaaviossa olevat käyttökustannukset sisältävät myös kiinteät käyttökustannukset. Uusinvestointikustannukset on jaettu tasapoistoina 10 vuodelle, ja pääomakustannuksissa on huomioitu 10 % korko sidotulle uudelle pääomalle.

Kokonaiskustannustarkastelussa verrattuna pelkästään käyttökustannustarkaste-
luun voidaan todeta happivaihtoehdon edullisuuden referenssitehtaaseen nähden kääntyvän päinvastaiseksi, ero muuttuu esim. männyn tapauksessa -64:stä +8:aan FIM/ADt, kun tarkastellaan kustannuksia sellutonnin kohden. Uusinvestointien suuruudella on tässä tapauksessa siis erittäin suuri vaikutus kokonaistaloudellisuuteen.

Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuserot referenssitehtaaseen nähden ovat kokonaistarkastelussa taulukossa 21.

Toisaalta vanhan tehtaan tapauksessa joudutaan tekemään rajoituksia tuotantomääriin talteenottolinjan pullonkaulojen vuoksi, mikä aiheuttaa eri vaihto-
ehdoissa erisuuruisia tuotannon menetyksiä ja vaikuttaa siten erilailla esim. menetettynä käyttökatteena. Tarkastellaan vielä eri vaihtoehtojen tuotantomääriä taulukossa 22.



Kuva 9. Eri vaihtoehtojen käyttö- ja investointikustannukset

Taulukko 21. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset¹⁾

Vaihto- ehto	Käyttö- kustannukset FIM/ADt	Investointi- kustannukset FIM/ADt	Yhteensä FIM/ADt	Ero referenssi- tehtaaseen FIM/ADt	Vuosittaiset kustannukset milj. FIM
K200R	1 659	+ -	1 659	+ -	352
K200H	1 611	+63	1 674	+15	340
K200B	1 669	+ 1	1 670	+11	347
M200R	1 995	+ -	1 995	+ -	375
M200H	1 931	+72	2 003	+ 8	353
M200B	2 006	+ 1	2 007	+12	373

¹⁾ Taulukossa on vuosittaisissa kustannuksissa otettu huomioon kullekin tapaukselle eri tuotantomäärät taseen mukaisesti.

Käyttökate luonnollisesti vaihtelee suuresti suhdanteiden mukaan lähtien aina negatiivisista lukemista runsaaseen 30 %:iin, mutta selluloosateollisuudessa voidaan pitää kohtuullisena käyttökatteena n. 20 %:a. Tällä prosenttilukemalla arvioidut menetetyt käyttökatteet eri vaihtoehtojilla verrattuna referenssitehtaaseen on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 22. Keskimääräiset tuotantomäärät (85% maksimituotannosta)

Vaihtoehto	Tuotantomäärä ADt/d	Ero referenssitehtaaseen ADt/d
K200R	625	+ -
K200H	598	-27
K200B	612	-13
M200R	553	+ -
M200H	519	-34
M200B	546	- 7

Taulukko 23. Menetetty käyttökate

Vaihtoehto	Vuosittainen menetetty käyttökate milj. FIM	Keskimääräinen FIM/ADt
K200R	+ -	+ -
K200H	-3,67	-18
K200B	-1,77	- 9
M200R	+ -	+ -
M200H	-4,62	-26
M200B	-0,95	- 5

Vuositasolla vanhan tehtaan käyttökate (20 %:lla laskettuna) on n. 76 milj.FIM, jolloin menetetyt käyttökatteet vastaavat 1,3 – 6,1 %:a kokonaiskatteesta, mikä kannattaa ottaa huomioon taloudellisissa arvioinneissa vallankin hyvinä suhdanne-aikoina, jolloin koko tuotanto varmimmin saadaan myydyksi.

Tarkastellaan vielä tapausta, jossa kokonaiskustannukset ja menetetty käyttökate ovat yhdistettynä. Käsitellään menetettyä käyttökateä kustannuksena (taulukko 24).

Näissä yhdistettyjen kustannusten laskelmissa päädytään happivaihetapauksessa 1,7 – 1,9 %:n ja entsyymivaihetapauksessa vastaavasti 0,9 – 1,2 % kustannustason nousuun.

Taulukko 24. Kokonaiskustannukset ja menetetty käyttökate

Vaihto- ehto	Kokonais- kustannukset FIM/ADt	Ero referenssiin FIM/ADt	Menetetty kate FIM/ADt	Kokonais- kustannusero FIM/ADt
K200R	1 659	+ -	+ -	+ -
K200H	1 674	+15	18	+33
K200B	1 670	+11	9	+20
M200R	1 995	+ -	+ -	+ -
M200H	2 003	+ 8	26	+34
M200B	2 007	+12	5	+17

5 ARVIOIDUT AOX-PÄÄSTÖT

Eri vaihtoehtojen AOX-päästöt puhdistuksen jälkeen on arvioitu kloorikemikaalien annostusten perusteella (annostukset taulukoissa 6, 7, 17, 18). AOX-reduktioaste vaihtelee mm. puhdistuslaitoksen mitoituksen, ajotavan sekä jäteveden koostumuksen ja väkevyyden mukaan. Laskelmissa on käytetty 30–45 %:n AOX-reduktiota jäteveden käsittelyssä, mikä vastaa hyvin mm. aktiivilietelaitoksessa saavutettuja arvoja.

Taulukko 25. Eri vaihtoehtojen arvioidut AOX-päästöt puhdistuksen jälkeen. Puhdistamon AOX-reduktio 30–45 %.

Vaihtoehto	ClO ₂ -substituutioaste C/D-vaiheessa, %	AOX-päästö kg/t ₉₀ vtu
K400R	100	0,5 – 0,6
K400H	100	0,3 – 0,4
K400B	100	0,4 – 0,5
M400R	50	1,6 – 2,0
M400H	50	0,9 – 1,2
M400B	50	1,2 – 1,5
K200R	80	0,9 – 1,1
K200H	80	0,5 – 0,6
K200B	80	0,7 – 0,8
M200R	30	2,6 – 3,4
M200H	30	1,5 – 2,0
M200B	30	2,1 – 2,6

6 PÄÄTELMÄT

6.1 Yleistä

1980-luvun puolivälissä aloitettu tutkimustyö, jonka tavoitteena oli selvittää entsyymien käyttöä sellun valkaisuun kloorittomilla tai vähäkloorisilla menetelmillä on edennyt tehdasmittakaavaisiin kokeisiin ksylanaaseilla. Entsyymien vaikutuksesta aktiivikloorin tarvetta sellun alkuvalkaisussa on kokeissa voitu vähentää 20–30%, minkä johdosta valkaisuajatevesien AOX-kuorma on vähentynyt 15–25%.

Tässä työssä on suoritettu käyttö- ja investointikustannusvertailut kahdelle tehdasesimerkille, joissa referenssiprosessiin liitettiin entsyymikäsittely ennen valkaisua. Kustannuslaskelmat perustuvat tarkkoihin materiaali- ja energiataselaskelmiin, joiden lähtöarvoina ovat tähänasti saavutetut koetulokset. Vastaavat kustannusvertailut on tehty myös happikäsittelyn liittämistä referenssiprosessiin.

Yksi tehdasesimerkeistä on uusi, uudenaikaista tekniikkaa käyttävä tehdas, jonka vuosituotanto on n. 400 000 ADt valkaistua koivu- tai mäntysulfaattisellua ("400-tehdas"). Toiseksi esimerkiksi on valittu referenssitehdas, joka vastaisi jo vuosia käytössä ollutta tehdasta ja jossa massatuotantoa rajoittavana tekijänä on soodakattilan kapasiteetti. Vuosituotanto on tässä tapauksessa keskimäärin 200 000 ADt ("200-tehdas").

6.2 "400-tehdas"

Entsyymikäsittelyn (B) mukaanotto uutta tehdasta suunniteltaessa aiheuttaa paitsi entsyyminannostelun ja pH-säädön laitteistolisäyksen myös mitoitusmuutoksia klooridioksidilaitoksessa sekä talteenottolinjassa, jos valkaistun sellun tuotanto pidetään vakiona. Nämä mitoitusmuutoksista johtuvat kustannukset kumoavat lähes kokonaan toisensa. Entsyymikäsittelyn mukaanotto lisää näinollen kokonaisinvestointikustannuksia vain 0,3 milj.FIM verrattuna referenssitehtaaseen.

Happivaiheen (H) mukaanotto referenssitehtaaseen (R) aiheuttaa paitsi happivaiheen lisäyksen myös muutoksia klooridioksidilaitoksen ja talteenottolinjan mitoitusmuutoksiin. Happivaiheen mukaanotto nostaa investointikustannuksia kokonaisuudessaan 139,4 milj.FIM:llä.

Nykyisessä kehitysvaiheessaan entsyymikäsittely ennen valkaisua ei vähennä valkaistun sulfaattimassan valmistuskustannuksia. Tässä selvityksessä käytetyillä lähtöarvoilla entsyymi-käsittelyn käyttö kustannukset ovat 16...17 FIM/ADt korkeammat

kuin referenssitehtaan käyttökustannukset.

Nykyisillä entsyymien hinnoilla ja annostelumäärillä entsyymikäsittelyllä saavutettu valkaisukemikaalien kustannussäästö on suurinpiirtein yhtä suuri kuin entsyymikäsittelyn kemikaalikustannukset. Mikäli entsyymien hintaa tai annostelua voidaan pudottaa puoleen nykyisestä, ovat entsyymikäsittelyn käyttökustannukset vain n. 4 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaan käyttökustannukset.

Entsyymikäsittelyn saantohäviön vuoksi puuraaka-ainekustannukset ovat 16...24 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaalla, mikä selittää edellä esitettyä kustannusnousua suurimmaksi osaksi.

Eri vaihtoehtojen jätevedenpuhdistuskustannuksia ei ole otettu huomioon tässä selvityksessä, koska tietoja entsyymikäsittelyn vaikutuksista jäteveden ominaisuuksiin kuten esim. BOD₇-päästöön ei ollut saatavilla. Entsyymikäsittelyn johdosta BOD₇-kuorma puhdistamolle todennäköisesti kasvaa. Happikäsittelyllä BOD₇-kuorma pienenee 25–30 % referenssivaihtoehtoon verrattuna.

Happikäsittelyvaihtoehdolla saavutetaan selvää säästöä kemikaalikustannuksissa (50..59 FIM/ADt). Saantohäviön aiheuttamat puuraaka-aineen lisäkustannukset ovat verrattaen pienet (6...8 FIM/ADt).

Kokonaiskuvan saamiseksi on eri vaihtoehtojen taloudellisuudesta on taulukossa 26 tarkasteltu yhteenvetona käyttö- ja investointikustannuksia, joissa investointikustannuksille on otettu huomioon 15 vuoden poistoaika ja sidotulle pääomalle 10 %:n korko. Kokonaiskustannukset on jaettu keskimääräisille vuosituotannoille (koivu 1190 ADt/d ja mänty 1105 ADt/d).

Taulukko 26. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset, FIM/ADt.

Vaihtoehto	Käyttö- kustannukset	Investointi- kustannukset ¹⁾	Yhteensä	Ero referenssi- tehtaaseen
K400R	1 599	692	2 291	+ -
K400H	1 563	731	2 294	+ 3
K400B	1 616	692	2 308	+17
M400R	1 931	745	2 676	+ -
M400H	1 885	789	2 674	- 2
M400B	1 947	745	2 692	+16

¹⁾ poistoaika 15 v, korko 10 %

6.3 "200-tehdas"

Entsyymivaihtoehdossa (B) on uusinvestointina otettu mukaan entsyymien annostelulaitaisto, pH-säätöjärjestelmä sekä mustan massatornin vuoraus haponkestäväksi. Näiden investointien kustannuksien on arvioitu olevan 1,4 milj.FIM.

Happivaiheen (H) lisäys turn-key -pakettina tuo lisäkustannuksia 85 milj.FIM.

Entsyymi- tai happivaiheen mukaanotto vanhassa tehtaassa aiheuttaa samansuuntaiset muutokset käyttökustannuksiin kuin uudessakin tehtaassa. Investointikustannukset rasittavat erityisesti happivaihetehdasta, vaikka tarkasteltu on vain marginaalisia uusinvestointikustannuksia (taulukko 27).

On myös huomattava, että vanhan tehtaan kyseessä ollessa ei ole tehty happi- ja entsyymivaihtoehtoisissa kapasiteettimuutoksia klooridioksidilaitokseen tai talteenottolinjaan. Eri suuruisten saantohäviöiden ja talteenotettujen ominaiskuiva-ainemäärien (happikäsittely) sekä talteenottolinjan pullonkaulojen vuoksi on jouduttu tekemään rajoituksia tuotantomääriin, kuten taulukossa 28 on esitetty. Tämä aiheuttaa eri vaihtoehtoisissa erisuuruisia tuotannonmenetyksiä, mikä saattaa hyvinä suhdanneaikoina vaikuttaa käyttökatteeseen erisuuruisina menetyksinä.

Tuotannon rajoitukset ovat siis happivaihtoehdolla luokkaa 4,3–6,1 % ja entsyymivaihtoehdolla 1,3–2,1 %

Tuotannon rajoitukset aiheuttavat taloudelliselta kannalta paitsi menetyksiä käyttökatteeseen myös kokonaisinvestointien suurempaa rasittavuutta tuotantotonna kohden, vallankin jos vanhan tehtaan perusinvestointi otetaan mukaan. Tällöin kokonaisinvestointi on samaa suuruusluokkaa, mutta tuotantomäärät, joille investointi kohdistetaan, ovat pienemmät.

Taulukko 27. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset, FIM/ADt.

Vaihtoehto	Käyttö- kustannukset	Investointi- kustannukset ¹⁾	Yhteensä	Ero referenssi- tehtaaseen
K200R	1 659	+ –	1 659	+ –
K200H	1 611	63	1 674	+15
K200B	1 669	1	1 670	+11
M200R	1 995	+ –	1 995	+ –
M200H	1 931	72	2 003	+ 8
M200B	2 006	1	2 007	+12

¹⁾ poistoaika 10 v, korko 10 %

Taulukko 28. Eri vaihtoehtojen keskituotantomäärät, kun soodakattilan kuormitus on 1 005 kg kuiva-ainetta/ADt

Vaihtoehto	Keskituotanto ADt/d	Ero referenssitehtaaseen ADt/d
K200R	625	ref.
K200H	598	– 27
K200B	612	– 13
M200R	553	ref.
M200H	519	– 34
M200B	546	– 7

7 TUTKIMUS- JA KEHITYSTARVE JATKOSSA

Entsyymikäsittelyn taloudellisuutta rasittaa entsyymin annostelumäärä (1 litra/tonni massaa) ja tämänhetkinen hinta. Toinen kannattavuutta heikentävä tekijä on entsyymikäsittelyn johdosta kasvanut saantohäviö. Tehdaskokeissa, joissa entsyymin sekoitus massaan on tehokkaampi kuin laboratoriolaitteissa, on voitu vähentää entsyyminannostusta. Entsyymmin sekoittuminen massaan ja sen tehokas toimiminen on riippuvainen paitsi laitteista niin myös massan sakeudesta. Tehdaskokeilla ja yhteistyöllä laitetoimittajien kanssa voidaan parhaiten kehittää näitä mahdollisuuksia.

Ksylanaasien normaalit toimintaolosuhteet (pH 4–6, 40–55 °C) rajoittavat tehtaan prosessiratkaisuja. Kehitteillä on entsyymejä, jotka toimivat korkeammissa lämpötiloissa (70–80 °C) ja alkalisissa oloissa. Pienempi pH-säädön tarve mahdollistaisi sellaisen pH-säätökemikaalin käytön, joka ei sisällä klooria tai rikkiä (esim. orgaaninen happo tai CO₂). Tällöin entsyymikäsittelystä tuleva jätevesi, joka sisältää jonkin verran liuennutta orgaanista ainesta, voidaan ohjata ruskean massan pesun ja lajittelun kautta talteenottosysteemiin eikä puhdistamoa kuormiteta tällä jätevedellä. Rikkihapon käyttö ei ole tällöin mahdollista tehtaan kemikaalitasapainon takia. Entsyymikäsittelyn ja edellä mainittujen erilaisten prosessiratkaisujen vaikutukset tehtaan kemikaalitaseisiin tulisi tarkemmin selvittää kokonaisvaltaisemman kuvan saamiseksi.

Entsyymikäsittelyn vaikutusta jätevesien koostumukseen on tähän asti tutkittu hyvin vähän. Entsyymikäsittely poistaa osan saostuneesta ksylaanista ja lisää kuidun läpäisevyyttä, jolloin ligniinin uuttaminen kuiduista paranee. Todennäköistä on, että jäteveden COD- ja BOD-kuorma puhdistamolle kasvaa. Tätä tulisi tarkemmin selvittää, koska lisääntynyt happeakuluttavien aineiden kuorma saattaa vaikuttaa käytössä olevan puhdistamon tehokkuuteen tai uuden laitoksen kyseessä ollessa mitoittukseen.

Tehtyjen tehdaskokeiden tuloksista on todettu, että valkaistun massan paperitekniset ominaisuudet eivät olennaisesti muutu entsyymikäsittelyssä. Entsyymikäsittelyn vaikutukset massan vaaleuteen ja vaaleuden pysymiseen sekä uutepitoisuuteen tulisi kuitenkin kattavammin selvittää muiden paperiteknisten ominaisuuksien lisäksi. Massan uutepitoisuudella tulee olemaan yhä tärkeämpi merkitys paperitehtaalla vesikiertojen sulkemisien sekä pH-vaihtelujen myötä.

Seuraava luonteva askel on yhdistää entsyymi- ja happikäsittely. Tätä on jo jonkin verran tutkittu laboratoriossa. Kloorikemikaalien säästö oli näissä kokeissa pienempi kuin jos lasketaan entsyymi- ja happikäsittelyssä saavutetut säästöt yhteen. Eli näyttäisi siltä, että vaikutukset eivät ole additiiviset. Kokeita on kuitenkin tehty niin vähän ja tuloksia on pelkästään laboratoriokokeista, joten mitään lopullisia johtopäätöksiä ei vielä voida tehdä. Lisää kokeita on syytä tehdä sekä laboratoriossa että tehdasmittakaavassa.

Tarve käyttää korkeammissa lämpötiloissa toimivia entsyymejä saattaa tällöin tulla eteen, ettei jouduta ylimää räisiin massan jäähtymisiin ja uudelleen lämmittämisiin ennen entsyymivaihetta ja happivaihetta. Happikäsittelyn kanssa käytettävän entsyymikäsittelyn vaikutukset tehtaan energiataseeseen tulisi selvittää.

8 YHTEENVETO

Viime vuosina suurta huomiota herättänyt jätevesiongelma sulfaattimassan valmistuksessa on valkaisu-jätevesien orgaaniset klooriyhdisteet. Valtakunnalliseksi tavoitteeksi on asetettu 1,4 AOX/t valkaistua sellua laskettuna koko maan vuotuisena keskiarvona vuoteen 1995 mennessä. Suomen selluteollisuuden AOX-päästöt ovat viime vuosina pienentyneet oleellisesti vähentyneen kloorinkäytön sekä uusien biologisten jätevedenpuhdistuslaitosten ansiosta.

AOX:n muodostuminen on riippuvainen valkaisun kloorikemikaalien kulutuksesta. Käytössä olevat menetelmät valkaistun sulfaattisellun kloorikemikaalikulutuksen vähentämiseksi ovat jatkettu keitto, happikäsittely, tehokas massan pesu sekä kloorikaasun korvaaminen klooridioksidilla ensimmäisessä kloorausvaiheessa osittain tai kokonaan.

1980-luvun puolivälissä aloitettu tutkimustyö, jonka tavoitteena on ollut selvittää entsyymien käyttöä sellun valkaisemiseksi kloorittomilla tai vähäkloorisilla menetelmillä on edennyt tehdasmittakaavaisiin kokeisiin ksylanaaseilla.

Laboratoriokokeissa on todettu, että entsyymikäsittelyllä päästään joko korkeampaan lopulliseen vaaleuteen tai alhaisempaan aktiivikloorin kulutukseen.

Tehdaskokeiden tavoitteena on toistaiseksi ollut lähinnä kloorinkulutuksen pienentäminen ja jätevesien AOX-kuorman vähentäminen. Laboratorio- ja tehdaskokeissa on päästy keskimäärin 20–30 % aktiivikloorin säästöön alkuvalkaisussa. Valkaisujätevesien AOX-kuormaa on näin saatu pienennettyä 15–25 %.

Tämän työn tarkoituksena on ollut suorittaa investointi- ja käyttökustannusvertailut, kun referenssiprosessiin liitettiin entsyymikäsittelyvaihe. Vastaavat vertailut on tehty myös happikäsittelyvaiheen liittämiseksi referenssiprosessiin.

Vertailut on tehty kahdelle täysvalkaistua koivu- ja mäntysulfaattisellua valmistavalle tehtaalle. Yhtenä tehdasesimerkkinä on uusi, uudenaikaista tekniikkaa käyttävä tehdas. Toiseksi esimerkiksi on valittu referenssitehdas, joka vastaisi jo vuosia käytössä ollutta tehdasta ja jossa massatuotannon rajoittavana tekijänä on soodakattilan kapasiteetti. Viimeksi mainitussa tapauksessa on lisäksi oletettu, että muutoksia ei tehdä referenssitehtaan muiden osastojen kohdalla.

Uuden tehtaan keskimääräinen vuosituotanto on 400 000 ADt ("400-tehdas") ja vanhan tehtaan 200 000 ADt ("200-tehdas"), joka on samaa suuruusluokkaa kuin mitä yhdellä massalinjalla tuotetaan skandinaavisessa sulfaattitehtaassa.

Käyttö- ja investointikustannuslaskelmat perustuvat RAMI-simulointiohjelman avulla tehtyihin materiaali- ja energiataselaskelmien antamiin ominaiskulutuslukuihin. Taselaskelmissa ovat mukana koko sellutehtaan prosessi kuorimosta kuivatuskoneelle sekä kemikaalikierto, energian tuotanto, valkaisukemikaalien valmistus ja mäntyöljykeitto. Jätevedenpuhdistamo ei ole mukana. Taseet on laskettu koivulle ja männylle erikseen.

Kustannukset on arvioitu esisuunnittelutasoisesti kokonaisinvestoinnille käyttäen apuna PI:lle muista projekteista kertynyttä puunjalostusteollisuuden kustannustietoutta. Tarkennetuissa osastolaskelmissa on käytetty laitetoimittajien kevään 1991 budjettitasoisia tarjouksia. Käyttökustannuslaskelmien yksikköhinnat ovat kevään 1991 toimitushintoja asiakkaalle Suomessa.

"400-tehdas"

Tarkasteltava referenssitehdas on uusi, nykyaikainen skandinaavinen tehdas, jossa on mm. kuiva kuorimo, jatkettu keitto (kappaluku koivulle 17, männylle 25), tuorevesipesuri ennen valkaisua, jonka sekvenssi on C/D-EO-D₁-D₂. Ensimmäisessä vaiheessa kemikaaliannostelu on C₅₀/D₅₀ männylle ja C₀/D₁₀₀ koivulle. Klooridioksidi valmistetaan suolahappomenetelmällä.

Happikäsittelyn jälkeen koivumassan kappaluku on 12 ja mäntymassan

kappaluku on 15.

Kevään 1991 skandinaavisen kustannustason mukaisesti arvioituna on 400 000 ADt/a valmistavan sulfaattiselutehtaan kokonaisinvestointi 2 400 milj. FIM, mitä on pidetty laskelmien lähtökohtana referenssitehtaalte.

Happivaihtehtaan ja entsyymivaihtehtaan investointikustannuksia laskettaessa on lähdetty referenssitehtaan kustannustasosta, ja tehty siihen tarvittavat kustannusmuutokset prosessimuutoksien funktiona.

Entsyymivaiheen mukaanotto referenssitehtaan aiheuttaa paitsi entsyymien annostelun ja pH-säädön laitteistolisäyksen lisäksi myös muutoksia klooridioksidilaitoksen ja talteenottolinjan mitoituskeeseen. Talteenottolinjan kapasiteetin lisätarve on n. 1,5 %. Klooridioksidilaitoksen kapasiteettiä voidaan pienentää 34,5 tonnista 27,5 tonniin vuorokaudessa. Vastaavat kustannusmuutokset kumoavat lähes kokonaan toisensa Entsyymivaihtehtaan kokonaisinvestointikustannukset ovat vain 0,3 milj. FIM kalliimmat kuin referenssitehtaan kustannukset.

Happivaiheen mukaanotto referenssitehtaan aiheuttaa muutoksena happivaiheen lisäyksen sekä talteenottolinjan kapasiteetin lisäyksen n. 5 %. Klooridioksidilaitoksen kapasiteettiä voidaan pienentää 34,5 tonnista 21,0 tonniin vuorokaudessa. Investointikustannuksissa on happivaiheen lisäys otettu mukaan uutena turn-key -pakettina, ja muut muutokset on laskettu kapasiteettiekspONENTIN mukaisena arviona. Happivaihtehtaan kokonaisinvestointikustannus on 2 539,4 milj. FIM, mikä on 139,4 milj. FIM eli 5,8 % kallimpi kuin referenssitehtaan investointikustannus.

Käyttökustannuslaskelmissa on tarkasti eritelty puun, kemikaalien ja energian kulutukset, joihin prosessivaihtoehdot vaikuttavat merkittävimmin.

Muut muuttuvat kustannukset, kuten vesien käsittely, pakkaus- ja kunnossapitomateriaalien kustannukset vastaavat kotimaisten tehtaiden keskimääräisiä kustannuksia. Eri prosessivaihtoehdot vaikuttavat jäteveden käsittelykustannuksiin, mutta luotettavien BOD₇-mittauksien toistaiseksi puuttuessa ei tässä yhteydessä tehty kustannuserittelyä eri vaihtoehtojen välille. Muuttuvissa kustannuksissa on laskelmiin otettu mukaan myös energian tuotannon hyvitykset.

Kiinteät käyttökustannukset, kuten työvoima- ja hallinnolliset kustannukset, vastaavat keskimääräisiä suomalaisia kustannustasoja tehdaskoon funktiona.

Nykyisessä kehitysvaiheessaan ei entsyymikäsittely ennen valkaisua vähennä valkaistun sulfaattimassan valmistuskustannuksia. Tässä selvityksessä käytetyillä lähtöarvoilla entsyymikäsittelyn käyttökustannukset ovat 16...17 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaan käyttökustannukset.

Entsyymikäsittelyllä saavutettu valkaisukemikaalien kustannussäästö on suurinpiirtein yhtä suuri kuin entsyymikäsittelyn kemikaalikustannukset. Mikäli

entsyymin hintaa tai annostelua voidaan pudottaa puoleen nykyisestä, ovat entsyymikäsittelyn käyttökustannukset vain n. 4 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaan käyttökustannukset. Entsyymikäsittelyn saantohäviön vuoksi (0,5–1,0 %-yksikköä suurempi kuin referenssitehtaan) puuraaka-ainekustannukset ovat 16...24 FIM/ADt korkeammat kuin referenssitehtaalla, mikä selittää edellä esitettyä kustannusnousua suurimmaksi osaksi.

Happikäsittelyvaihtoehdolla saavutetaan selvää säästöä kemikaalikustannuksissa (50...59 FIM/ADt). Saantohäviön aiheuttamat puuraaka-aineen lisäkustannukset ovat verrattain pienet (6...8 FIM/ADt).

Kokonaiskuvan saamiseksi eri vaihtoehtojen taloudellisuudesta on seuraavassa jaotelmassa tarkasteltu käyttö- ja investointikustannusten yhteenvetoa, jossa investointikustannuksille on käytetty 15 vuoden poistoaika ja sidotulle pääomalle 10 %:n korko. Kokonaiskustannukset on jaettu keskimääräisille vuosituotannoille (koivu 1 190 ADt/d ja mänty 1 105 ADt/d).

Verrattaessa kokonaiskustannuksia käyttökustannuksiin voidaan todeta, että happivaihtoehdon edullisuus referenssitehtaaseen verrattuna kaventuu. Eron muutos on esimerkiksi männyn tapauksessa 46 – (–2) FIM tonnia kohti, kun taas entsyymivaihtoehdossa ero (+16 FIM/ADt) pysyy samana johtuen investointien samasta suuruusluokasta. Investointien suuruuseroilla ja myös poistoaajoilla sekä pääomakulujen arvostuksella on merkittävä osuus kokonaiskustannustarkastelussa.

Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset FIM/ADt

Vaihtoehto (tasekoodi)	Käyttö- kustannukset	Investointi- kustannukset ¹⁾	Yhteensä	Ero referenssi- tehtaaseen
Koivu				
Referenssi (K400R)	1 599	692	2 291	+ –
ref.+happi (K400H)	1 563	731	2 294	+ 3
ref.+entsyymi (K400B)	1 616	692	2 308	+17
Mänty				
referenssi (M400R)	1 931	745	2 676	+ –
ref.+happi (M400H)	1 885	789	2 674	– 2
ref.+entsyymi (M400B)	1 947	745	2 692	+16

¹⁾ poistoaika 15 v, korko 10 %

"200-tehdas"

Tässä tarkastelussa referenssitehtaaksi on valittu tehdas, joka edustaa jo vuosia käytössä ollutta tehdasta. Referenssitehtaaseen lisätään joko happivaihe tai entsyymivaihe ennen valkaisua. Rajoittava tekijä tässä tarkastelussa on talteenottolinjan pullonkaula, soodakattila. Taselaskelmissa on siis soodakattilaan menevä kuiva-ainemäärä (t kuiva-ainetta/d) pidetty samana kaikissa vaihtoehdoissa.

Referenssivaihtoehdoksi on valittu tehdaskonsepti, joka edustaa melko uudenaikaista skandinaavista tehdasta, jossa on mm. kuiva kuorimo, konventionaalinen keitto (kappaluku koivulle 19, männylle 30), C/D-EO-D₁-E₂-D₂-valkaisusekvenssi, jossa ensimmäisen vaiheen kemikaaliannostus on on C₇₀/D₃₀ männylle ja C₂₀/D₈₀ koivulle. Klooridioksidi valmistetaan Mathieson-menetelmällä.

Happikäsittelyn jälkeen koivumassan kappaluku on 13 ja mäntymassan kappaluku on 18.

Keskimääräiseksi tuotantotasoksi valittiin 200 000 ADt/a, joka on samaa suuruusluokkaa, kuin mitä yhdellä massalinjalla tuotetaan skandinaavisessa sulfaattitehtaassa.

Referenssitehdas on tässä tapauksessa oletettu jo poistetuksi eli investointien vertailussa tarkastellaan vain marginaalisia uusinwestointeja. Valmiin tehtaan kyseessä ollessa ei voida myöskään tehdä happi- ja entsyymivaihetehdaskan kapasiteettimuutoksia klooridioksidilaitokseen tai talteenottolinjaan, vaan muutokset otetaan huomioon erilaisina tuotannon läpimenoina käyttökustannuksissa.

Entsyymivaihetehdaassa on uusinwestointeina otettu mukaan entsyymin annostelulaitteisto, pH-säätöjärjestelmä sekä mustan massatornin vuoraus haponkestäväksi. Näiden investointien kustannuksien on arvioitu olevan 1,4 milj. FIM.

Happivaihe aiheutta turn-key -pakettina arvioituna lisäkustannuksia 85,0 milj. FIM.

Entsyymi- ja happivaiheen mukaanotto vanhassa tehtaassa aiheuttaa samansuuntaiset muutokset käyttökustannuksiin kuin uudessakin tehtaassa.

Investointikustannukset rasittavat erityisesti happivaihetehdasta, vaikka tarkasteltiin vain marginaalisia uusinwestointikustannuksia.

Eri suuruisten saantohäviöiden ja talteenotettujen ominaiskuiva-ainejäämien (happikäsittely) sekä talteenottolinjan pullonkaulojen vuoksi on tehty rajoituksia tuotantomääriin, mitkä ovat eri vaihtoehdoissa erisuuruisia. Tämä saattaa hyvinä suhdanneaikoina aiheuttaa käyttökatteeseen erisuuruisia menetyksiä.

Tuotannon rajoitukset ovat happivaihtoehdolla luokkaa 4,3–6,1 % ja entsyymivaihtoehdolla 1,3–2,1 %.

Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset FIM/ADt

Vaihtoehto (tasekoodi)	Käyttö- kustannukset	Investointi- kustannukset ¹⁾	Yhteensä	Ero referenssi- tehtaaseen
Koivu				
referenssi (K200R)	1 659	+ -	1 659	+ -
ref.+happi (K200H)	1 611	63	1 674	+15
ref.+entsyymi (K200B)	1 669	1	1 670	+11
Mänty				
referenssi (M200R)	1 995	+ -	1 995	+ -
ref.+happi (M200H)	1 931	72	2 003	+ 8
ref.+entsyymi (M200B)	2 006	1	2 007	+12

¹⁾ poistoaika 10 v, korko 10 %

Tuotannon rajoitukset aiheuttavat taloudelliselta kannalta paitsi menetyksiä käyttökatteeseen myös kokonaisinvestointien suurempaa rasittavuutta tuotantotonna kohden.

Vuositasolla vanhan tehtaan käyttökate (20 %:lla laskettuna) on n. 76 milj. FIM, joten menetetyt käyttökatteet vastaavat 1,3–6,1 %:a kokonaiskatteesta. Tämä kannattaa ottaa huomioon taloudellisissa arvioinneissa vallankin hyvina suhdanneaikoina, jolloin koko tuotanto varmimmiin saadaan myydyksi.

Tarkasteltaessa tapausta, jossa kokonaiskustannukset ja menetetty käyttökate (menetetty kate käsitellään kuten kustannus) yhdistetään, päädytään happivaihetapauksessa 1,7–1,9 %:n ja entsyymivaihetapauksessa vastaavasti 0,9–1,2 %:n kustannustason nousuun verrattuna referenssivaihtoehtoon.

LYHENTEET

Lyhenne	Lyhennyksen selitys
"400-tehdas"	Uusi, uusinta tekniikkaa käyttävä tehdas. Tuotanto: 400 000 ADt/a valkaistua koivu- ja mäntysulfaattisellua Prosessikuvaus: kts. kohta 4.1
K400R	referenssitehdas, 400 000 ADt/a koivusellua
K400H	referenssitehdas + happivaihe, 400 000 ADt/a koivusellua
K400B	referenssitehdas + entsyymivaihe, 400 000 ADt/a koivusellua
M400R	referenssitehdas, 400 000 ADt/a mäntysellua
M400H	referenssitehdas + happivaihe, 400 000 ADt/a mäntysellua
M400B	referenssitehdas + entsyymivaihe, 400 000 ADt/a mäntysellua
"200-tehdas"	Edustaa jo vuosia käytössä ollutta tehdasta, jossa pullonkaulana on soodakattila Tuotanto: 200 000 ADt/a valkaistua koivu- ja mäntysulfaattisellua Prosessikuvaus: kts. kohta 5.1
K200R	referenssitehdas, 200 000 ADt/a koivusellua
K200H	referenssitehdas + happivaihe, 200 000 ADt/a koivusellua
K200B	referenssitehdas + entsyymivaihe, 200 000 ADt/a koivusellua
M200R	referenssitehdas, 200 000 ADt/a mäntysellua
M200H	referenssitehdas + happivaihe, 200 000 ADt/a mäntysellua
M200B	referenssitehdas + entsyymivaihe, 200 000 ADt/a mäntysellua
t ₉₀	tonnia ilmakeivaa massaa
ADt	tonnia ilmakeivaa massaa (Air Dry)
t ₁₀₀	tonnia absoluuttisen kuivaa massaa
t DS	tonnia kuiva-ainetta (Dry Solids)
ML	mustalipeä
VTU, vtu	valkaistu

LIITE 2

KLOORIDIOKSIDILAITOKSEN MITOITUSARVOT, t ClO₂/d

Vaihtoehto	Klooridioksidin tarve maks. tuotannossa	Mitoitusarvo ¹⁾
K400R	28,8	34,5
K400H	17,4	21,0
K400B	22,9	27,5
M400R	25,8	31,0
M400H	14,6	17,5
M400B	22,9	27,5

¹⁾ Mitoitusarvo = 1.2 x maksimituotannon tarve

KUSTANNUSLASKELMISSA KÄYTETYT HINNAT**Kemikaalien hinnat** **FIM/t**

Poltettu kalkki	700
Natriumsulfaatti	650
Natriumhydroksidi	1 400
Happi (nestem.)	550
Magneesiumsulfaatti	1 000
Kloori	900
Natriumkloraatti	2 300
Suolahappo (33 %)	400
Rikkidioksidi (nestem.)	900
Rikkihappo (93 %)	500
Entsyymiliuos FIM/l	25

Puun hinnat

Mäntypuu, FIM/k.m ³ kuorellisena	235
Koivupuu, FIM/k.m ³ kuorellisena	230

Energian hinnat

Öljy FIM/t	900
Sähkö FIM/MWh	150
Höyry	
–väliotto FIM/MWh	25
–vastapaine FIM/MWh	18

LIITE 4/1

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K400R

=====

----- MUUTTUVA KUSTANNUKSET	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.880 m3	230 /m3	1,122.31
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	21.3 kg	700 /t	14.91
- Na2SO4 (100 %)	3.8 kg	650 /t	2.47
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	43.8 kg	0	30.66
--muu kulutus	28.6 kg	0	20.02
- H2SO4 (93 %)	7.6 kg	500 /t	3.80
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	0.0 kg	900 /t	0.00
- SO2-neste (100 %)	5.0 kg	900 /t	4.50
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	36.0 kg	2300 /t	82.80
- HCl (33 %)	75.0 kg	400 /t	30.00
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	700.0 kWh	150 /MWh	105.00
- Höyry : VO	4.7 GJ	25 /GJ	118.18
- "- : VP	11.1 GJ	18 /GJ	199.83
- Öljy (apupolttoaineena)	35.7 kg	900 /t	32.13
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(429.03)
MUUT MUUTTUVA KUSTANNUKSET			99.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVA KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,439.34

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET 160.00

(ilman pääomakuluja)

mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,599.34KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA
(= tuot.määrä * käyttökust./ADt)

MILJ.FIM 647

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K400H

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.914 m3	230 /m3	1,130.22
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	21.7 kg	700 /t	15.19
- Na2SO4 (100 %)	2.7 kg	650 /t	1.76
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	26.8 kg		18.76
--muu kulutus	28.6 kg		20.02
- H2SO4 (93 %)	7.6 kg	500 /t	3.80
- Happi (nestem.)	14.1 kg	550 /t	7.76
- Kloori (100 %)	0.0 kg	900 /t	0.00
- SO2-neste (100 %)	5.0 kg	900 /t	4.50
- Mg-sulfaatti (12 %)	8.2 kg	120 /t	0.98
- NaClO3 (100 %)	21.8 kg	2300 /t	50.14
- HCl (33 %)	45.3 kg	400 /t	18.12
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	755.0 kWh	150 /MWh	113.25
- Höyry : VO	4.7 GJ	25 /GJ	117.55
- "- : VP	11.4 GJ	18 /GJ	205.57
- Öljy (apupolttoaineena)	37.5 kg	900 /t	33.75
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(437.89)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			99.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,402.48
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			160.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,562.48
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	632
(= tuot.määrä * käyttökust./ADt)			

LIITE 4/3

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K400B

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	QM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
=====			
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.983 m3	230 /m3	1,146.03
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	21.5 kg	700 /t	15.05
- Na2SO4 (100 %)	3.7 kg	650 /t	2.41
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	32.8 kg		22.96
--muu kulutus	28.6 kg		20.02
- H2SO4 (93 %)	12.8 kg	500 /t	6.40
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	0.0 kg	900 /t	0.00
- SO2-neste (100 %)	5.0 kg	900 /t	4.50
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	28.6 kg	2300 /t	65.78
- HCl (33 %)	59.5 kg	400 /t	23.80
- Entsyymi (nestem.)	1.0 l	25 /l	25.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	704.0 kWh	150 /MWh	105.60
- Höyry : VO	4.8 GJ	25 /GJ	120.76
- "- : VP	11.2 GJ	18 /GJ	201.76
- Öljy (apupolttoaineena)	36.5 kg	900 /t	32.85
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(438.41)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			99.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,456.26
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			160.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,616.26
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	654
(= tuot.määrä * käyttökust./ADt)			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M400R

=====

MUUTTUVAAT KUSTANNUKSET

OM.KUL.
(/ADt)YKS.HINTA
(FIM/)

FIM/ADt

RAAKA-AINEET

- kuorellinen havupuu	6.261 m3	235 /m3	1,471.34
-----------------------	----------	---------	----------

KEMIKAALIT

- Kalkki (polt.kalkki)	22.3 kg	700 /t	15.61
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	59.4 kg		41.58
--muu kulutus	29.3 kg		20.51
- H2SO4 (93 %)	13.4 kg	500 /t	6.70
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	14.1 kg	900 /t	12.69
- SO2-neste (100 %)	5.1 kg	900 /t	4.59
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	34.7 kg	2300 /t	79.81
- HCl (33 %)	72.3 kg	400 /t	28.92
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00

ENERGIA

Kulutus: - Sähkö	730.0 kWh	150 /MWh	109.50
- Höyry : VO	6.0 GJ	25 /GJ	150.89
- "- : VP	10.8 GJ	18 /GJ	194.04
- Öljy (apupolttoaineena)	39.8 kg	900 /t	35.82
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(503.04)

MUUT MUUTTUVAAT KUSTANNUKSET

99.00

mm: jätevesikäsitteily,
pakkaus, kunnossapitomat.

MUUTTUVAAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

1,770.71

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET

160.00

(ilman pääomakuluja)
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

1,930.71

KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA

MILJ.FIM

725

(= tuot.määrä * käyttökust./ADt)

LIITE 4/5

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M400H

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen havupuu	6.287 m3	235 /m3	1,477.43
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	22.8 kg	700 /t	15.96
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	35.4 kg		24.78
--muu kulutus	30.7 kg		21.49
- H2SO4 (93 %)	13.4 kg	500 /t	6.70
- Happi (nestem.)	22.0 kg	550 /t	12.10
- Kloori (100 %)	8.0 kg	900 /t	7.20
- SO2-neste (100 %)	5.0 kg	900 /t	4.50
- Mg-sulfaatti (12 %)	8.2 kg	120 /t	0.98
- NaClO3 (100 %)	19.7 kg	2300 /t	45.31
- HCl (33 %)	41.0 kg	400 /t	16.40
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	787.0 kWh	150 /MWh	118.05
- Höyry : VO	6.1 GJ	25 /GJ	152.84
- "- : VP	11.2 GJ	18 /GJ	202.31
- Öljy (apupolttoaineena)	42.2 kg	900 /t	37.98
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(517.74)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			99.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,725.29

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET 160.00
(ilman pääomakuluja)
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,885.29

KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA MILJ.FIM 708
(= tuot.määrä * käyttökust./ADt)

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M400B

=====

----- MUUTTUVA KUSTANNUKSET	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen havupuu	6.327 m3	235 /m3	1,486.92
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	22.6 kg	700 /t	15.82
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	47.8 kg		33.46
--muu kulutus	29.3 kg		20.51
- H2SO4 (93 %)	18.6 kg	500 /t	9.30
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	8.9 kg	900 /t	8.01
- SO2-neste (100 %)	5.1 kg	900 /t	4.59
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	30.8 kg	2300 /t	70.84
- HCl (33 %)	64.0 kg	400 /t	25.60
- Entsyymi (nestem.)	1.0 l	25 /l	25.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	732.0 kWh	150 /MWh	109.80
- Höyry : VO	6.1 GJ	25 /GJ	152.42
- "- : VP	10.8 GJ	18 /GJ	195.08
- Öljy (apupolttoaineena)	40.2 kg	900 /t	36.18
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(508.18)
MUUT MUUTTUVA KUSTANNUKSET			99.00
mm: jätevesikäsitteily, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVA KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	1,787.09
--------------------------------------	----------

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET (ilman pääomakuluja)	160.00
---	--------

mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	1,947.09
-----------------------------	----------

KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA (= tuot.määrä * käyttökust./ADt)	MILJ.FIM	732
---	----------	-----

LIITE 5/1

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K200R

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.854 m3	230 /m3	1,116.48
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	22.6 kg	700 /t	15.82
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	52.2 kg		36.54
--muu kulutus	37.4 kg		26.18
- H2SO4 (93 %)	30.5 kg	500 /t	15.25
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	8.6 kg	900 /t	7.74
- SO2-neste (100 %)	20.3 kg	900 /t	18.27
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	40.7 kg	2300 /t	93.61
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	700.0 kWh	150 /MWh	105.00
- Höyry : VO	4.1 GJ	25 /GJ	102.03
- "- : VP	11.3 GJ	18 /GJ	202.50
- Öljy (apupolttoaineena)	33.8 kg	900 /t	30.42
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(416.64)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,458.96

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET 200.00
(ilman pääomakuluja)
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,658.96

KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA MILJ.FIM 352
(= tuot.määrä(625 ADt/d) * käyttökust./ADt)

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K200H

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.888 m3	230 /m3	1,124.21
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	23.0 kg	700 /t	16.10
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	31.0 kg		21.70
--muu kulutus	38.4 kg		26.88
- H2SO4 (93 %)	18.0 kg	500 /t	9.00
- Happi (nestem.)	14.6 kg	550 /t	8.03
- Kloori (100 %)	5.2 kg	900 /t	4.68
- SO2-neste (100 %)	14.0 kg	900 /t	12.60
- Mg-sulfaatti (12 %)	8.3 kg	120 /t	1.00
- NaClO3 (100 %)	24.0 kg	2300 /t	55.20
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	757.0 kWh	150 /MWh	113.55
- Höyry : VO	4.2 GJ	25 /GJ	105.17
- "- : VP	11.5 GJ	18 /GJ	206.51
- Öljy (apupolttoaineena)	35.6 kg	900 /t	32.04
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(428.70)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,410.96
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			200.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,610.96
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	327
(= tuot.määrä(598 ADt/d) * käyttökust./ADt)			

LIITE 5/3

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

K200B

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen lehtipuu	4.958 m3	230 /m3	1,140.34
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	22.8 kg	700 /t	15.96
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	38.2 kg		26.74
--muu kulutus	37.4 kg		26.18
- H2SO4 (93 %)	24.5 kg	500 /t	12.25
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	5.7 kg	900 /t	5.13
- SO2-neste (100 %)	17.3 kg	900 /t	15.57
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	32.7 kg	2300 /t	75.21
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	1.0 l	25 /l	25.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	704.0 kWh	150 /MWh	105.60
- Höyry : VO	4.2 GJ	25 /GJ	104.54
- "- : VP	11.4 GJ	18 /GJ	204.98
- Öljy (apupolttoaineena)	34.6 kg	900 /t	31.14
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(425.31)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			
MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,469.07
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			200.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			
KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,669.07
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	347
(= tuot.määrä(612 ADt/d) * käyttökust./ADt)			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M200R

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen havupuu	6.174 m3	235 /m3	1,450.89
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	23.9 kg	700 /t	16.73
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	75.0 kg		52.50
--muu kulutus	24.4 kg		17.08
- H2SO4 (93 %)	28.2 kg	500 /t	14.10
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	44.1 kg	900 /t	39.69
- SO2-neste (100 %)	19.2 kg	900 /t	17.28
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	37.7 kg	2300 /t	86.71
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	725.0 kWh	150 /MWh	108.75
- Höyry : VO	5.0 GJ	25 /GJ	125.56
- "- : VP	11.3 GJ	18 /GJ	203.59
- Öljy (apupolttoaineena)	36.6 kg	900 /t	32.94
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(476.18)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,795.39
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			200.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,995.39
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	375
(= tuot.määrä(553 ADt/d) * käyttökust./ADt)			

LIITE 5/5

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M200H

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	QM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen havupuu	6.218 m3	235 /m3	1,461.11
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	24.4 kg	700 /t	17.08
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	43.8 kg		30.66
--muu kulutus	26.8 kg		18.76
- H2SO4 (93 %)	17.2 kg	500 /t	8.60
- Happi (nestem.)	24.0 kg	550 /t	13.20
- Kloori (100 %)	25.2 kg	900 /t	22.68
- SO2-neste (100 %)	13.6 kg	900 /t	12.24
- Mg-sulfaatti (12 %)	16.7 kg	120 /t	2.00
- NaClO3 (100 %)	22.9 kg	2300 /t	52.67
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	0.0 l	25 /l	0.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	785.0 kWh	150 /MWh	117.75
- Höyry : VO	5.3 GJ	25 /GJ	131.27
- "- : VP	11.9 GJ	18 /GJ	214.34
- Öljy (apupolttoaineena)	39.2 kg	900 /t	35.28
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(509.27)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsitely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,731.37

KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET 200.00
(ilman pääomakuluja)
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ 1,931.37

KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA MILJ.FIM 340
(= tuot.määrä(519 ADt/d) * käyttökust./ADt)

KÄYTTÖKUSTANNUKSET

M200B

=====

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET -----	OM.KUL. (/ADt)	YKS.HINTA (FIM/)	FIM/ADt
RAAKA-AINEET			
- kuorellinen havupuu	6.242 m3	235 /m3	1,466.96
KEMIKAALIT			
- Kalkki (polt.kalkki)	23.9 kg	700 /t	16.73
- Na2SO4 (100 %)	0.0 kg	650 /t	0.00
- NaOH (50 %)		700 /t	
--valkaisuun	61.2 kg		42.84
--muu kulutus	24.4 kg		17.08
- H2SO4 (93 %)	26.0 kg	500 /t	13.00
- Happi (nestem.)	5.0 kg	550 /t	2.75
- Kloori (100 %)	33.6 kg	900 /t	30.24
- SO2-neste (100 %)	18.0 kg	900 /t	16.20
- Mg-sulfaatti (12 %)	0.0 kg	120 /t	0.00
- NaClO3 (100 %)	34.7 kg	2300 /t	79.81
- HCl (33 %)	0.0 kg	400 /t	0.00
- Entsyymi (nestem.)	1.0 l	25 /l	25.00
ENERGIA			
Kulutus: - Sähkö	727.0 kWh	150 /MWh	109.05
- Höyry : VO	5.1 GJ	25 /GJ	127.09
- "- : VP	11.4 GJ	18 /GJ	204.83
- Öljy (apupolttoaineena)	37.0 kg	900 /t	33.30
Sähkön ja höyryn tuotanto (hyvitys)			(481.57)
MUUT MUUTTUVAT KUSTANNUKSET			103.00
mm: jätevesikäsittely, pakkaus, kunnossapitomat.			

MUUTTUVAT KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			1,806.31
KIINTEÄT KÄYTTÖKUSTANNUKSET			200.00
(ilman pääomakuluja)			
mm. työvoimakust., hallinnolliset kust.			

KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ			2,006.31
KÄYTTÖKUSTANNUKSET VUOSITASOLLA		MILJ.FIM	372
(= tuot.määrä(546 ADt/d) * käyttökust./ADt)			

RAMI-SIMULOINTI

Tietokonepohjainen RAMI-simulointiohjelmisto on tarkoitettu **sellu- ja paperitehtaiden materiaali- ja energiataseiden laskentaan**. Ohjelmisto on kehitetty PI Process Consulting Oy:ssä ja sillä luotavan tehdaskohtaisen mallin avulla voidaan tutkia prosessiolosuhteita ja pienentää mm. vedenkulutusta ja jätevesipäästöjä. Laatuhäiriöiden syiden selvittämiseen malli on erinomainen työkalu.

RAMI-simulointimalli voidaan rakentaa muutamasta laitteesta, tietyistä osastosta tai kokonaisesta integroidusta sellu- ja paperitehtaasta. Simulointimalli muodostetaan toisiinsa kytketyistä laitteista, moduleista. Ohjelmassa on valittavissa **yli 30 kpl** eri tavalla toimivaa **modulia** ja näin voidaan simuloida kaikkia sellu- ja paperitehtaissa käytössä olevia laitteita ja prosesseja niiden todellista toimintaa vastaavalla tavalla.

Taselaskennan avulla selvitetään mallin mukaisesti rajatulla alueella kokonaisvirtaukset ja niissä mukana siirtyvät **energia-, kuitu-, täyteaine-, alkuaine- ja liukoisen kuiva-aineen virtaukset**. Samalla saadaan kunkin virtauksen **lämpötila, kuitu- ym. pitoisuus, paine ja entalpia**. Myös taserajan yli tulevat ja lähtevät virtaukset, sekä sähkön ja höyryn kulutus ja lauhteen palautus selvitetään.

Kun malli on rakennettu vastaamaan suunniteltavaa tai jo toimivaa laitosta, voidaan simuloimalla tutkia **nopeasti ja edullisesti** erilaisia prosessin muutoksia ja niiden vaikutusta **energian, veden ja raaka-aineiden kulutukseen**. Huomioimalla energian, raaka-aineiden, kemikaalien ja tuotteiden hinnat, voidaan selvittää eri prosessivaihtoehtojen kate.

RAMI-simuloinnissa tulosteet hyödynnetään paitsi olemassa olevan **prosessin toiminnan optimoinnissa** myös uuden laitoksen **suunnittelussa ja mitoituksessa**. Laitteiden ja putkistojen mitoitus tehdään osastokohtaisesti ja kokonaismallin avulla varmistetaan lisäksi eri osastojen mitoituksen **yhteensopivuus**. Tarkoituksena on varmistaa laitoksen mitoitettu, häiriötön tuotanto.

41. Siuntionjokineuvottelukunta: Siuntionjoen vesistön käytön ja suojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1989.
42. Vilhunen, Oili: Hankoa ympäröivän merialueen tila vuosina 1976 - 1986. Helsinki 1989.
43. Vantaanjoen vesistön vesiensuojelun toimenpideohjelma. Helsinki 1990.
44. Jeltsch, Ulrich: Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Helsinki 1990.
45. Ahtiainen, Marketta: Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun Nurmes tutkimuksessa. Helsinki 1990.
46. Heikkilä, Raimo: Vaasan läänin uhanalaiset suokasvit. Helsinki 1990.
47. Korkka-Niemi, Kirsti: Tutkimus kaivovesien happamoitumisesta Suomessa. Helsinki 1990.
48. Kauppi, Lea; Sandman, Olavi; Knuuttila, Seppo; Eskonen, Kristiina; Liehu, Anita; Luokkanen, Sinikka & Niemi, Maarit: Maankäytön merkitys vesien käytölle haitallisten sinileväkukintojen esiintymisessä. Helsinki 1990.
49. Heikkinen, Kaisa & Visuri, Anna: Orgaanisten aineiden merkityksestä ja pidättymisestä virtaavan veden ekosysteemeissä.
Heikkinen, Kaisa & Visuri, Anna: Turvetuotannon typpikuormituksen vaikutuksista virtaavissa vesissä. Helsinki 1990.
50. Pitkänen, Heikki; Kangas, Pentti; Sarkkula, Juha; Lepistö, Liisa; Hällfors, Guy & Kauppila, Pirkko: Veden laatu ja rehevyys Itäisellä Suomenlahdella. Raportti vuosien 1987 - 88 tutkimuksista. Helsinki 1990.
51. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Suomenlahden öljyvahinko 1987. Helsinki 1990.
52. Levinen, Riitta: Puhdistamolietteen viljelykäytön edellytykset. Helsinki 1990.
53. Niemi, Reino A: Makrofytyt vesien tilan seurannassa. Helsinki 1990.
54. Lammassaari, Veikko: Uitto ja sen vesistövaikutukset. Helsinki 1990.
55. Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin toiminnan suuntaviivat 1990-luvun alkupuoliskolla. Helsinki 1990.
56. Perälä, Jaakko & Reuna, Marja: Lumen vesiarvojen alueellinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1990.
57. Haja-asutuksen vedenhankinnan kehittäminen. Helsinki 1990.
58. Puustinen, Jukka: Typen merkitys rannikkovesien rehevöitymisessä. Helsinki 1990.
59. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Pohjanmaan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1990.
60. Saviranta, Leena & Katko, Tapio (toim.): Kansainvälinen vesihuollon vuosikymmen 1981 - 1990 Suomessa. Helsinki 1990.
61. Katko, Tapio (ed.): The international drinking water and sanitation decade 1981 - 1990 in Finland. Helsinki 1990.
62. YV-projekti: Kokemuksia osallistumisesta ja vaikutusten arvioinnista vesiensuojelun suunnittelussa. Helsinki 1990.
63. Antikainen, Sari; Smolander, Ulla & Järvinen, Olli: Näytteenottomenetelmän luotettavuus luonnonvesien raskasmetalliseurannassa. Helsinki 1990.
64. Saarela, Jouko: Kaivosjätteiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Helsinki 1990.
65. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Vesien käyttö ja hoito 1990-luvulla Varsinais-Suomi ja Etelä-Satakunta. Helsinki 1990.
66. Mukherjee, Arun B: The use of chlorinated paraffins and their possible effects in the environment. Helsinki 1990.
67. Assmuth, Timo: Kaatopaikkojen ongelmajätteiden ympäristövaikutukset. Riskikaatopaikkatutkimuksen pääraportti. Helsinki 1990.
68. Porvoonjoen kuormitusselvitystyöryhmä; Lehtonen, Eija & Penttilä, Sirpa (toim.): Porvoonjoen kuormitusselvitys. Helsinki 1991.
69. Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri: Mikkelin läänin vesien hoito 1990-luvulla. Helsinki 1991.
70. Louekari, Kimmo; Saarikoski, Heli & Joki-Kokko, Eeva: Kadmium ympäristössä. Helsinki 1991.
71. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Pohjanmaan vedet ja ympäristö. Helsinki 1991.
72. Freindling, Alexander & Heitto, Lauri: Primary production of inland waters. Helsinki 1991.
73. Pennanen, Jussi: Toutain Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen järjestelyn vaikutusalueella. Helsinki 1991.

74. Hildén, Mikael; Hakaste, Tapio; Korhonen, Pekka & Rahikainen, Eljas: Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen kalatalouden intressianalyysi. Helsinki 1991.
75. Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Helsinki 1991.
76. Pasanen, Jaana: Öljyisen maan ja jätteen mikrobiologinen puhdistus. Helsinki 1991.
77. Ihme, Raimo; Isotalo, Lauri; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Laskentusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Helsinki 1991.
78. Rantala, Aulis (toim.): Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Helsinki 1991.
79. Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnittelun työryhmä; Hynninen, Pekka (toim.): Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1991.
80. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Suomen kehittyvät vesivarat. Helsinki 1991.
81. Haapala, Kirsti & Eurén, Maija: Luonnonvesien ja jätevesien kiintoainemäärityksen ongelmista. Helsinki 1991.
82. Laine, Anne & Heikkinen, Kaisa: Turvetuotannon kalastovaikutukset. Helsinki 1991.
83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärväissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kajjalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiaalisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.
100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.

ISBN 951-47-6269-X
ISSN 0786-9592